

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka ja ympäristötekniikka
Anna Haarala

Opinnäytetyö

Sisäilmatutkimus Tampereen ammattikorkeakoulussa
Tutkimus ilmanvaihdon vaikutuksesta sisäilman laatuun

Työn ohjaaja Pasi Arvela
Työn tilaaja TAMK Ilmanlaatu-projekti
Tampere 11/2009

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka, ympäristötekniikka

Tekijä	Haarala, Anna
Työn nimi	Sisäilmatutkimus Tampereen ammattikorkeakoulussa
Sivumäärä	53
Työn Valmistumisaika	11/2009
Työn ohjaaja	Pasi Arvela
Työn tilaaja	TAMK-ilmanlaatuprojekti

TIIVISTELMÄ

Työ oli osa Tampereen ammattikorkeakoulun Ilmanlaatuprojektia. Työn tarkoituksena oli tutkia Tampereen ammattikorkeakoulun ilmanvaihdon vaikutusta sisäilmanlaatuun kahden luokan ja kahden työhuoneen kohdalla B-siivessä.

Tavoitteena oli saada selville, onko tiloissa työskentelyä heikentävä ilmanlaatu. Mittaukset suoritettiin tiloissa normaalien työpäivien aikana. Tiloista mitattiin sisäilman lämpötilaa, kosteutta, hiilidioksidipitoisuutta ja vetoisuutta sekä poisto- ja tuloilmanvaihdon ilmamäärät.

Saatuja mittaustuloksia on verrattu eri viranomaisten antamiin suosituksiin. Tiloissa oli havaittavissa lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuksien kohoamista, mutta ei ylitetty suositusarvoja haittaavalla tasolla.

Tuloksia voidaan hyödyntää ilmanvaihdon parametrien parantamiseen ja sisäilmaviihtyvyyden tehostamiseen tutkituissa tiloissa.

Tampereen ammattikorkeakoulun tilojen sisäilman kartoitusta olisi hyvä jatkaa, jotta ilmanvaihdosta saataisiin kattavampi kuva.

TAMK University of Applied Sciences
Chemical Engineering Degree Program
Chemical Engineering and Environmental Engineering

Writer	Haarala Anna
Thesis	Air quality in TAMK university of Applied Sciences
Pages	53
Graduation time	11/2009
Thesis Supervisor	Pasi Arvela
Made for	TAMK Ilmanlaatu-project

ABSTRACT

This work is part of Tampere University of Applied sciences air quality- project. The purpose of this work was to study the effect of ventilation in Tampere University of Applied Sciences. The purpose of this work was to study the effect of ventilation in Tampere University of Applied Sciences. The study took place in two classrooms and two offices in the B part of the building.

The purpose of the work was to find out does whether the spaces have work debilitating air quality. The measurements were conducted during normal workdays. The variables measured were temperature, carbon dioxide content, relative humidity and air movement. Also the amount of in coming and out going air flow of the ventilation systems were measured.

The results were compared to guidelines which have been created by different authorities. In all spaces the temperatures and carbon dioxide levels rose but the levels didn't exceed the limit values on a harmful level.

The results can be used to enhance the parameters which control the ventilation systems. Also the ventilation in spaces can be improved.

The study of the condition of ventilation system in Tampere University of Applied Sciences should be carried on. In that way the whole ventilation system would be surveyed.

Key words indoor air, temperature, carbon dioxide, air movement, percentage of moisture

Esipuhe

Viime kevään näyttäessä synkältä kesätöiden suhteen löytyi yksi valopilkku, kun sain opinnäytetyön aiheen Tampereen ammattikorkeakoulun sisäilmaryhmältä. Saman projektin alta kaksi muutakin oppilasta sai opinnäytetyön aiheen.

Haluaisin kiittää Maija Nenosta ja Ilari Rautasta hyvästä vertaistuesta, Ilmanlaatuprojektiin osallistuneita henkilöitä Jarmo Liljaa, Maarit Korhosta, Jarmo Oravasaarta ja Mikko Luotoa. Erityiskiitokset haluaisin osoittaa työni ohjaajalle Pasi Arvelalle ja käyttöinsinööri Petri Ojalalle tiedoista, taidoista ja tuesta. Lisäksi osoittaisin mittausavusta kiitokset Kiira Särkänlahdelle, Piia Kyllöselle, Tiina Hakkarainen, Kersti Jääskeläinen ja Esa Väliaholle.

Tampereella 24.11.2009

Anna Haarala

Sisällysluettelo	
1 Johdanto	7
2 Sisäilman määrittäminen	8
2.1 Sisäilmasäädökset	8
2.1.1 Lakisääteiset suositukset	8
2.1.2 Sisäilmastoluokitukset	9
2.2 Sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät	9
2.2.1 Sisäilman hiukkaset	10
2.2.2 Kemialliset epäpuhtaudet	10
3 Ilmanvaihto	12
3.1 Ilmanvaihtomenetelmät	12
3.2 Ilmanvaihdon tarve	13
3.3 Ilmastoinnin ohjearvot	13
3.4 Ilmanvaihdon tutkiminen	13
4 Ilmanvaihtojärjestelmät Tampereen ammattikorkeakoulussa	14
4.1 Ilmanvaihtojärjestelmät valituissa tiloissa	14
4.2 Toimintatarkistus	14
5 Mittaukset	15
5.1 Lämpötila ja kosteus	15
5.1.1 Lämpötila	15
5.1.2 Kosteus	17
5.2 Hiilidioksidi (CO ₂)	18
5.2.1 Hiilidioksidin mittaaminen	19
5.2.2 Suositusarvot hiilidioksidille	19
5.3 Vetoisuus	20
5.3.1 Vetoisuudessa käytetyt mittalaitteet ja mittaustensuoritus	21
5.3.2 Suositusarvot vetoisuudelle	21
5.4 Ilmamäärät	22
5.4.1 Mittalaitteet ja mittausten suoritus	23
5.4.2 Ilmamäärät koetiloissa	23
6 Mittaustulokset	25
6.1 Mittaustulokset työhuoneista	25
6.1.1 B1-60 työhuoneen mittaustulokset	25
6.1.2 Mittaustulokset huoneesta B1-59	27
6.2 Mittaukset luokista	29
6.2.1 Luokka B4-25	29
6.2.2 Luokka B3-17	32
7 Tulostenkäsittely	35
7.1 Työhuoneet	35
7.1.1 Lämpötila, kosteusprosentti ja vetoisuus työhuoneissa	35
7.1.2 Hiilidioksidipitoisuus työhuoneissa	38
7.1.3 Ilmamäärät työhuoneissa	39
7.2 Luokkatilat	40
7.2.1 Lämpötila, kosteusprosentti ja vetoisuus tyhjissä luokkatiloissa	40
7.2.2 Hiilidioksidi luokissa	45
7.4 Mittaukset luokkatiloista oppitunninaikana	46
7.4.1 Lämpötila, kosteus ja vetoisuus oppitunninaikana	46
7.4.2 Hiilidioksidipitoisuus luokissa oppitunninaikana	49
8 Parannusehdotukset	50
8.1 Työhuoneet	50
8.2 Luokkatilat	50
8.3 Tulevaisuus	51

Symboliluettelo

S1,S2 & S3	Sisäilmastoluokitus
VOC	Volatile organic compound, haihtuva orgaaninen yhdiste
LVI	Lämpö, vesi ja ilmanvaihto
ppm	Parts per million, miljooonasosa
HTP	Haitalliseksi todettu pitoisuus
BRTG & RHKP	Tuloilmaventtiilimalli
USR	Poistoilmaventtiilimalli
LTO	Lämmöntalteenotto
hPa	hehto = 100/ 1 hPa = 1 mbar
TK 22, TK 23 & TK 24	Tuloilmavaihtokoneet Tampereen ammattikoulussa
Tac Vista	Ilmanvaihtokoneiden ohjaus ohjelma

1 Johdanto

Sisäilman ongelmat ovat aiheuttaneet hankaluuksia jo viime vuosisadalla, jolloin ahtaat asumisolot aiheuttivat sairauksien, kuten tuberkuloosin, leviämisen. Vasta 1970-luvulla energiakriisin yhteydessä, kun taloja eristettiin, alettiin käsittää ilmanvaihdon merkitys sisäilmanlaatuun. Talojen eristämisen myötä epäpuhtauspitoisuudet ilmassa kasvoivat. 1990-luvulla homeongelmat nousivat ihmisten tietoisuuteen. Sen myötä ihmisten kiinnostus sisäilmaan ja sen laatuun on noussut. (Seuri & Palomäki 2000,18-20.)

Työn tarkoituksena oli tutkia Tampereen ammattikorkeakoulun sisäilmaa. Useamman palaverin jälkeen tutkimuskohteeksi valikoitui B-siivessä olevien ilmastointiratkaisujen vaikutus sisäilman laatuun. Tutkimuskohteina oli kaksi työhuonetta, jotka sijaitsevat B-siiven ensimmäisessä kerroksessa ja kaksi luokkaa B-siivessä. Toinen luokista sijaitsee neljännessä kerroksessa (B4-25) ja toinen sijaitsee kolmannessa kerroksessa (B3-17).

Sisäilman laatu on nousemassa eri tahojen johdosta ihmisten tietämyksiin. Samalla ihmiset kiinnittävät työpaikoillaan enemmän huomiota sisäilmanlaatuun. Ihmisten omat sairaudet ja ärsytysoireet ovat myös aiheuttaneet viranomaisten kiinnostumisen sisäilmaan. Tästä on hyvänä esimerkkinä tupakkalaki, jonka seurauksena ravintoloissa ja baareissa ei saa enää tupakoida sisätiloissa.

Sisäilmaan kuuluu monia osa-alueita, jopa melu, valo ja oudot hajut kuuluvat sisäilman laatuun vaikuttaviin asioihin. Säteilytekijät kuuluvat myös sisäilman laatutekijöihin. Säteilylle on asetettu Suomen laissa raja-arvot, joita rakennus ei saa ylittää.

Tässä työssä on keskitytty sisäilman perussuureisiin lämpötila, kosteus ja hiilidioksidi (CO₂). Suomen laki ei ole määrittänyt vielä edellä mainituille suureille raja-arvoja. Sisäilmayhdistys on kuitenkin asettanut suositusarvoja suureille ja nostanut sisäilmanlaadun vaikutusta ihmisten tietämyksiin.

Keskityn työssäni myös ilmanvaihdon vaikutukseen perussuureissa. Mittaamalla ilmanvaihtokanavien ilmamäärät saadaan selville, kuinka tehokkaasti ilmanvaihto toimii tiloissa. Tampereen ammattikorkeakoulussa on erilaisia ilmanvaihtoratkaisuja. B-siiven ilmanvaihtoratkaisut ovat kaikki kolmen ison ilmanvaihtokoneen alaisuudessa. Ilmanvaihdon lisäksi eri tiloissa on muun muassa jäähdytysjärjestelmiä, jotka jäähdyttävät tilaan tulevaa ilmaa.

2 Sisäilman määrittäminen

Sisäilma voidaan määrittää eri tavoilla. Yhden määritelmän mukaan sisäilmaksi lasketaan kaikki, mitä rakenteiden rajaamalla alueella on. Sen periaatteen mukaan sisäilmaksi laskettaisiin kaikki teollisuushalleista karjasuojiiin oleva ilma normaalien asuntojen, koulujen ja toimistotilojen lisäksi.

Toinen määritelmä on suppeampi. Sen mukaan sisäilmaksi lasketaan vain tilat, joissa ei ole tuotannollisia tai muusta tuotannosta johtuvia päästöjä. Tätä ja seuraavaksi esitettyä määritelmää on käytetty tämän opinnäytetyön pohjalla.

Eräs mahdollisuus määritellä sisäilmaa on antaa tilaa käyttävien ihmisten arvioida tilan sisäilmanlaatu. Tämä määritelmä korostaa sisäilman käyttäjien kokemuksia, mikä on hyvä asia, sillä sisäilma on olemassa käyttäjää varten. Esimerkiksi työpaikalla sisäilma tulisi nähdä tuotantovälineenä.

Välillä sisäilmaa ja sisäilmastoa pidetään samana asiana. Sisäilmastoon kuuluu fysikaalisia muuttujia hengitysilmän lisäksi. Fysikaalisia tekijöitä ovat muun muassa melu, lämpötila, valaistus, säteily ja viihtyvyyteen vaikuttavat seikat. (Seuri & Palomäki 2000, 15-16.)

Rakennuksia ympäröivän ulkoilman laatu on myös keskeinen sisäilmaan vaikuttava tekijä. Ulkoilman saasteet kulkeutuvat sisäilmaan. Saasteiden pitoisuudet saattavat muuttua voimakkaasti, jos rakennus sijaitsee lähellä teollisuutta, voimaloita tai suurta liikenneväylää. Ne edesauttavat saasteiden kertymistä sisälle. (Haahtela, Nordman & Talikka 1993, 20)

2.1 Sisäilmasäädökset

Sisäilman laadun määrittämiseen sisältyy haasteita nykyiselläkin tekniikalla, sillä sisäilmassa voi olla kymmeniä tai satoja kaasumaisia ja hiukkasmaisia osia. Kaikkien näiden kaasujen ja hiukkasten lyhyt- ja pitkäaikaisia vaikutuksia ei edes tunneta.

2.1.1 Lakisääteiset

Suomen laki ei määritä virallisia rajoja sisäilman laadulle, mutta työterveyslaki (763/94) sisältää asuntotarkastusta koskevia tai siihen liittyviä säännöksiä (Sisäilmaohje 1997, 9.)

2.1.2 Sisäilmastoluokitus

Sisäilmastoluokituksen on tehnyt eräät rakennusalan järjestöt ja sisäilmayhdistys.

Sisäilmastoluokituksen suositusarvot perustuvat tämänhetkiseen tietämykseen.

Se on tarkoitettu käytettäväksi sisäilmastotavoitteita asettaessa tavanomaisissa työ- ja asuintiloissa (koulut, päiväkodit, toimisto- ja julkiset rakennukset ja asuinrakennukset). (Seuri & Palomäki 2000, 16.)

Sisäilmastoluokitus on kolmitasoinen. Paras luokista on S1 ja huonoin S3. Tavoitearvot luokituksille on asetettu niin, että huonoimmassa luokassa terveille henkilöille ei aiheudu terveyshaittaa. Rakennuksessa on silloin suunnitellulla tavalla toimiva ilmanvaihto, eikä erillisiä epäpuhtauslähteitä ole.

Sisäilmastoluokituksessa 2008 on tavoitearvot määritelty seuraavasti:

S1 – Yksilöllinen sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja.

Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllälämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyviä valaistusolosuhteita tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus.

S2 – Hyvä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritteviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllälämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet.

S3 – Tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. (Sisäilmastoluokitus 2008 2008, 8.)

2.2 Sisäilmaan laatuun vaikuttavat tekijät

Sisäilman laatuun vaikuttavat monet tekijät, mutta sisäilman epäpuhtauksia on pääasiassa kahdenlaisia: hiukkasmaisia, jotka on jaoteltu biologisiin tekijöihin ja pienhiukkasiin, ja kaasumaisia aineita. Sisäilmaan vaikuttaa myös fysikaaliset tekijät, joihin kuuluvat lämpötila,

kosteus, melu, veto ja radon, ja kemiallisia tekijöitä. Kemialliset tekijät, jotka voivat olla peräisin rakennus- ja sisustusmateriaaleista, kosteuden vaurioittamista rakenteista, ihmisen toiminnoista tai tilan ulkopuolelta (teollisuuden tai liikenteen päästöt), vaikuttavat myös sisäilman laatuun. (Seuri & Palomäki 2000, 32.)

2.2.1 Sisäilman hiukkaset

Sisäilmassa pienhiukkaset voivat olla orgaanisia tai epäorgaanisia. Hiukkasten koolla on vaikutus terveyteen. Suurimmat yli 10 µm jäävät hengitysteiden yläosiin. Suuret hiukkaset voivat aiheuttaa refleksinomaista yskää tai aivastelua. Alle 10 µm:n hiukkaset voivat aiheuttaa päästessään keuhkoputken alaosiin immunologisia reaktioita. Vain alle 1 µm:n kokoiset hiukkaset pääsevät keuhkojen perimmäisiin osiin. (Seuri & Palomäki 2000, 46-48.)

Biologista alkuperää olevat hiukkaset ovat terveydelle haitallisimpia. Niihin kuuluvat mikrobit (virukset, bakteerit ja sienet) ja erilaisia allergioita aiheuttavat tekijät, kuten kasvi- ja eläinpöly. Yleensä sisäilman pienhiukkaset ovat peräisin ulkoilmasta, jossa liikenne on pienhiukkasten tärkein lähde. Sisäilmassa hiukkasten määrää lisää tupakointi ja kaasuliedet. (Seuri & Palomäki 2000, 46-48.)

2.2.2 Kemialliset epäpuhtaudet

Kemialliset epäpuhtaudet ovat joko hiukkasmaisia tai kaasumaisia yhdisteitä, jotka voidaan jakaa orgaanisiin tai epäorgaanisiin yhdisteisiin. Epäpuhtaudet voivat olla peräisin rakennus- ja sisustusmateriaaleista, kosteudesta, ihmisten toiminnoista, ihmisten vaurioittamista rakenteista tai muun oleskelutilan tai asunnon ulkopuolelta. (Sisäilmaohje 1997, 46-47.)

Terveysvaikutukset yhdisteestä riippuen vaihtelee kuolemaan äkillisesti johtavista, kuten häkä, pelkkiin ärsytysvaikutuksiin. Pitoisuudet voivat vaihdella suuresti sisätilojen eri osissa. Ilmanvaihto vaikuttaa pitoisuuksien kohoamiseen. Ilmanvaihdon toimiessa tehokkaasti ja suunnitellulla tavalla rakennuksessa pitoisuudet eivät koho. Joissain tapauksissa ilmanvaihto toimii vain eri osissa tiettyinä aikoina, jolloin pitoisuudet saattavat kohota. (Seuri, Palomäki 2000, 40.)

Epäorgaaniset epäpuhtaudet

Epäorgaanisiin epäpuhtauksiin kuuluvat hiilidioksidi (CO₂), hiilimonoksidi (CO), otsoni (O₃), typen oksidit ja ammoniakki (NH₃), rikkidioksidi (S₂) ja muut rikkiyhdisteet.

Sisätiloissa epäorgaanisen epäpuhtauden paikallisena lähteenä voi toimia kopiokone tai tulostin (O₃) tai hajoavat rakennusmateriaalit (NH₃). Suurin ulkopuolinen lähde sisäilmaan on tieliikenne, jonka seurauksena syntyy rikkiyhdistepäästöjä. (Seuri, Palomäki 2000, 40 – 43.)

Orgaaniset epäpuhtaudet

Orgaanisia kaasumaisia yhdisteitä on sisäilmassa satoja, ja ne on jaettu neljään ryhmään kiehumispisteidensä mukaan. VOC (volatile organic compound) eli haihtuva orgaaninen yhdiste on nimitys niille yhdisteille, joiden kiehumispiste on 50-100 ja 240-260 °C.

Määrittymenetelmästä riippuen voidaan yhdisteille saada erilaisia pitoisuuksia. VOC:ien määrittäminen on vielä epävarmaa ja VOC-tutkimuksen perusteella ei voida todeta sisäilman olevan vaarallista, mutta VOC-tutkimuksella voidaan paikantaa ärsytystä aiheuttava lähde. (Seuri, Palomäki 2000, 43-44.)

3 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdolla tarkoitetaan tapahtumaa, jossa tilaan tulee ilmaa ja siitä poistuu ilmaa. Sen tarkoituksena on huolehtia puhtaan korvausilman saannista ja poistaa ilman epäpuhtauksia. (Sisäilmaohje 1997,16).

Ilmanvaihto perustuu paine-eroihin, koska ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään. Koneellisessa ilman vaihdossa paine-ero saadaan aikaiseksi puhaltimilla. Kyseessä on tulo- ja poistoilman vaihto, jos tuloilma puhalletaan koneella tilaan, muuten kyseessä on vain poistoilmanvaihto. Silloin puhutaan ilmastoinnista, jos tuloilmaa jäähdytetään tai kosteutetaan. (Sisäilmayhdistys 2009)

Ilmanvaihto rakennuksessa vaikuttaa suoraan tai välillisesti epäpuhtauksiin, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittaa asunnossa. Sisäilman epäpuhtaudet ovat yleensä kemiallisia. Ihminen voi altistua niille kolmen eri tekijän vaikutuksesta: epäpuhtauspäästöstä, ilmanvaihdosta ja altistusajasta. (Aurola & Välikylä 1997,33.)

Ilmanvaihto voi olla myös terveyshaitta. Ilmanvaihto voi myös melullaan olla häiriötekijä. Liian suuri tuloilmavirta ja korvausilman sisäänotto voi aiheuttaa vetoa. Ilmanvaihto voi myös kuljettaa sisäilmaan epäpuhtauksia. Koneellisessa ilmanvaihdossa on huolehdittava suodattimien huollosta, sillä tuloilmakanavaan kertyvät epäpuhtaudet saattavat alkaa haista. (<http://www.sisäilmayhdistys.fi>.)

3.1 Ilmanvaihtomenetelmät

Painovoimainen ilmanvaihto on Suomessa yleisin ilmanvaihto menetelmä. 1960-luvulle asti se oli nimenomaan ainoa ilmanvaihtomenetelmä. Myös monet koulut, päiväkodit ja toimistorakennukset on varustettu painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä. Järjestelmä johtaa ilmaa huonekohtaisista venttiileistä pystysuoria hormeja pitkin ulos ja ottaa tilalle ilmaa ulkoventtiileiden tai ikkunarakenteiden kautta. Painovoimainen ilman vaihto on toimiva ilmastointi menetelmä, kunhan on huolehdittu, että poistoilmahormit toimivat ja korvausilman saanti on kunnossa. Koska kesäaikana ilman lämpötilaerot ovat pienet, on ilman vaihtumista tehostettava ikkuna tuuletuksella. (Seppänen 1996, 47-50).

Koneellisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan ilman poisto- ja tuloilmajärjestelmää, mikä hoidetaan koneen avulla. Koneellinen ilmastointi yleistyi asuinrakennuksissa 1960-luvun jälkeen. Nykyään noin puolet pientaloista varustetaan koneellisella ilmastoinnilla. Toimistorakennuksissa koneellinen ilmastointi on yleisin ilmanvaihtokeino. Kun kyseessä on tiivis rakennus, on koneellinen ilmanvaihto tarpeellinen. Toiminnan edellytyksenä koneellisessa ilmanvaihdossa

on, että ilmapirrat on säädetty oikein. Asuinrakennuksissa ilmastoinnin tulisi olla koko ajan päällä. (Seppänen 1996, 47-50).

3.2 Ilmanvaihdon tarve

Ihminen tuottaa ilmaan aineenvaihdunnallaan hiilidioksidia (CO₂) ja muita epäpuhtauksia. Hiilidioksidipitoisuuden (CO₂) ollessa alle 2700 mg/m³ (1500 ppm) on huoneilma laadultaan tyydyttävää. Ilma tuntuu tunkkaiselta ylittäessään edellä mainitun raja-arvon. Korvausilman tulisi olla 4 l/s henkilöä kohden, jotta ilma ei tuntuisi tunkkaiselta ja hiilidioksidipitoisuus ei kohoaisi yli raja-arvon. Jos tilassa on muita lähteitä, jotka lisäävät hiilidioksidin määrää on korvausilma määrän oltava 7-8 l/s henkilöä kohden. Nykyisiä sisustus- ja rakennusmateriaaleja käytettäessä ei toimistotiloissa säädetty litramäärä takaa hyvää sisäilmanlaatua. (Sisäilmaohje 1997, 17.)

3.3 Ilmastoinnin ohjearvot

Ilmanvaihdon tulee toimia kaikissa olosuhteissa alkuperäissuunnitelman tavoin. Ilmapirran ollessa 0,5 m³/h on ilmanvaihto terveyden kannalta riittävää asuinkäytössä olevaa rakennuskuutiometriä kohden. Ilmanvaihdon tulee toimia varsinkin makuuhuoneessa ja märkätiloissa. Sen on myös toimittava, vaikka tila olisi tilapäisesti tyhjillään.

Muissa oleskelutiloissa on ilmanvaihto riittävää, kun se täyttää rakennusmääräyskokoelman osan D2 "Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto". Rakentamismääräyskokoelmassa on lisää ilmanvaihtolaitteita ja ilmanvaihtoa koskevia määräyksiä ja ohjeita. (Aurola ja Välikylä 1997,34.)

Uudet huonekalut ja uudet rakenteet aiheuttavat tarpeen suurempaan ilmanvaihtomäärään, koska ne aiheuttavat ilmaan epäpuhtauksia.

On kuitenkin huomioitava, että ilmanvaihtolaitteet eivät saa aiheuttaa terveyshaittaa eli melua tai vetoa. Ilmapirratkaan eivät saa olla niin suuria, että sisäilman lämpötila ja kosteus laskisi niiden johdosta. (Sisäilmaohje 1997, 18.)

3.4 Ilmanvaihdon tutkiminen

Jos ilmanvaihdon oletetaan toimivan puutteellisesti tai ilmassa on epäpuhtauksia, on ilmanvaihdon tutkiminen tarpeen. Ilmanvaihto vaihtelee rakennuksen eri osissa. Ajallisia ilmanvaihteluja sisäilmaan saattaavat aiheuttaa tuuletus, säänvaihtelut, ilmanvaihtolaitoksen tehon vaihtelut ja väliovien asennot. Sen vuoksi epäpuhtauspitoisuudet ja niille altistuminen vaihtelee.

Tutkiminen tulisi tehdä aluksi aistinvaraisesti ja mittaukset tehtäisiin tarpeen vaatiessa. (Sisäilmaohje 1997,18-19.)

4. Ilmanvaihtojärjestelmät Tampereen ammattikorkeakoulussa

Tampereen ammattikorkeakoulussa on koneellinen tulo- ja poistoilmavaihto. 1998 koulussa oli rakennushanke, jonka aikana saneeratuissa ja rakennetuissa on myös LTO. Koulussa on myös erillisiä poistokoneita esimerkiksi vessoissa ja vetokaapeissa.

Pääasiassa koulussa on monivyöhykejärjestelmiä, joiden alaisuudessa on jälkilämmityksiä ja jäähdytyksiä. Koulussa on useiden ilmanvaihtokonemerkkien järjestelmiä. Jäähdytyspuolella pääasiallinen toimittaja on Carrier.

B- talo on jaettu kolmeen isoon ilmanvaihtokoneeseen. Itäsivu toisesta kerroksesta kuudenteen on TK22-ilmanvaihtokoneen takana. TK23:nen hoitaa toisesta kerroksesta kuudenteen kerrokseen B-siiven länsisivun. Käytävät toisesta kerroksesta kuudenteen ja ensimmäinen kerros kokonaan on TK24 koneen takana. (Ojala 2009.)

Kaikki koneet joko lämmittävät tai jäähdyttävät tuloilmaa ulkolämpötilaa kompensoiden. Tuloilma suodatetaan ja koneet on varustettu lämmön talteenotto laitteilla. Ilmanvaihtokoneet lämmittävät tai jäähdyttävät tuloilmaa ulkolämpötilan mukaan. Jokaiselle koneelle on asetettu säätöarvot TAC vista ohjelmaan, jonka lämpötilasäätökäyrien perusteella koneet toimivat. (Ojala.)

4.1 Ilmanvaihtojärjestelmät valituissa tiloissa

Valitut koeluokat B3-17 ja B4-25 ovat eri ilmanvaihtokoneiden takana. B3-17 on B-siiven itäpuolella eli koneen TK22 takana. B4-24 on puolestaan B-siiven länsipuolella, joten ilmanvaihtojärjestelmänä toimii TK23. Toimistotilat, joissa suoritetaan ilmanlaatumittauksia sijaitsevat ensimmäisessä kerroksessa, jolloin ilmanvaihtokoneena on TK24. (Ojala 2009.)

4.2 Toimintatarkistus

Tampereen ammattikorkeakoulun ilmastoinnille tehdään vuosihuollot. Suodattimen vaihdot tehdään paine-erohälytysten perusteella. Erillisen ohjelman mukaan yksi rakennus vuodessa tehdään kanavien nuohoukset. Ilmastointijärjestelmät, kuten jäähdytyspaneelit, tarkastetaan kylmäaineita sisältävien laitteistojen koskevien määräysten mukaan. Huolloissa on puuttunut sähköinen huoltokirja, tai lähinnä se ei ole ollut aktiivisessa käytössä. (Ojala 2009.)

5. Mittaukset

Sisäilman laatuun kuuluu aiemmin mainittuja tekijöitä, mutta tässä työssä keskitytään esitettyihin suureisiin ja niiden vaikutukseen sisäilmaviihtyvyydessä.

5.1 Lämpötila ja kosteus

Sisätiloissa viihtyvyyteen vaikuttaa eniten lämpötila ja kosteus. Molemmat ovat riippuvaisia rakennuksen toiminnoista, kuten rakennus- ja sisustusmateriaaleista ja rakennuksen rakenteellisista ja teknisistä ominaisuuksista. Lämpötilaa, kosteutta ja ilmanvaihtoa voidaan säädellä nykyaikaisella LVI-tekniikalla. (Sisäilmaohje 1997, 11-16.)

5.1.1 Lämpötila

Lämpötila julkisessa tilassa on kohdallaan, jos tilassa olevat ihmiset eivät halua muuttaa sitä. Huoneilman lämpötila, lämpösäteily, ilman virtausnopeus ja kosteus vaikuttavat lämpöaistimukseen.

Lämpöviihtyvyyden fysikaalisia tekijöitä ovat ilman lämpötila, säteilylämpötila, ilman liike ja kosteus. Lämpöviihtyvyyteen vaikuttavat sekä tehtävät työt, työasennot, ilmastolliset seikat että pukeutuminen. Lämpöviihtyvyyttä arvioitaessa on huomioitava, että pelkkä yhden pisteen mittaaminen yhden kerran ei riitä selvittämään mahdollista ongelmaa. Lämpötila ei saisi vaihdella pystysuunnassa muutamaa astetta enempää, eikä tila saisi sijaita lähellä mahdollisia kylmiä pintoja, kuten huonosti eristettyjä seiniä tai kylmiä ikkunoita. (Haahtela....84-85.)

Viihtyvyys vähenee, jos seinäpinnoilla on suuria lämpötilaeroja. Lämpötilaerot aiheuttavat lämpösäteilyn epäsymmetrisyyttä. Pitkään jatkuessaan se voi aiheuttaa terveydellisiä haittoja. (Aurola & Välikylä 1997, 20-25.)

Lämpötilan ohjearvot

Lämpötilojen tavoitearvot on jaettu kolmeen ryhmään sisäilmastoluokkien pohjalta. Tavoitearvot koskevat lämpötiloja, jotka mitataan huoneen oleskeluvyöhykkeellä. Taulukossa 1 on esitelty sisäilmaston lämpötilaa koskevat tekniset suositusarvot. Ne ovat käytössä, kun suunnitellaan rakennushanketta ja määritellään tavoitetasoa sisäilmastolle. (Sisäilmastoluokitus 2008 2008, 8-9.)

Taulukko 1: Lämpötilan suositusarvot (Sisäilmastoluokitus 2008 2008,9.)

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			
$t_u \leq 10$ °C	21,5 ¹⁾	21,5	21
$10 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$ ¹⁾	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$	$21 + 0,4 \times (t_u - 10)$
$t_u > 20$ °C	24,5 ¹⁾	24,5	25
Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]	± 0,5	±1,0	±1,0
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]	$t_{op} + 1,5$	$t_u \leq 10$ °C: $t_{op} + 1,5$ $10 < t_u \leq 20$ °C: $21,5 + 0,4 \times (t_u - 10)$ $t_u \leq 20$ °C: 27	$t_u \leq 15$ °C: 25 $t_u \leq 15$ °C: $t_{umax} + 5$
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	20	20	18
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjasta]			
toimi- ja opetustilat	95%	90%	--
asunnot	90%	80%	--

- 1) S1 –luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila-/huoneistokohtainen aseteltavissa välillä $t_{op} \pm 1,5$ °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja

Tyydyttävä taso vastaa uudisrakentamiselle asetettuja vähimmäisvaatimuksia. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen tulisi pyrkiä tähän tasoon. Ohje arvojen välttävän tason alittuminen voi aiheuttaa terveyshaittaa. (Sisäilmaohje 2008 2008, 8-9.)

Mittausten tekeminen

Lämpötila on aiheellista mitata silloin, kun mahdollisen haitan toteaminen on varmintä.

Mittaukset tulisi tehdä talvella (lämpötila alle -10°C) tai tuulisena ajankohtana (tuulennopeus yli 5 m/s). Vedon mittaaminen tulisi tehdä tuulisella säällä.

Lämmityksen ja ilmanvaihdon on oltava samanlaiset kuin käyttötilanteessa. 4-6 tuntia ennen mittauksia tulisi välttää ikkunatuuletusta. Mittalaitteiden tulee olla kalibroituja ja niiden toiminta on tarkastettava mittauksen alussa mittausvirheiden välttämiseksi. (Sisäilmaohje 1997, 14-15.)

Soveltaen standardin SFS 5511 kohtaa 4 mitataan sisäilman lämpötila. Mittaus tapahtuu sähköisellä anturilla. Oleskeluvyöhykkeellä mittaus tulisi suorittaa 1,1 metrin korkeudelta ja työpisteessä 0,6 metrin korkeudella. Mittaus tulisi sijoittaa aina pääasialliseen työpisteeseen. Anturina mittauksissa käytetään Vaisalan mittariin kytkettyä Vaisalan anturia. Standardin SFS 5511 kohdan 5 mukaan mitataan operatiivinen lämpötila, joka kuvaa ihmisen lämpöaistimusta. Mittaus tapahtuu pallo lämpö mittarilla. Operatiivisen lämpötilan mittaus onnistuu vain alle 0,4 m/s ilmanvirtausolosuhteissa. (SFS 5511 kohta 4.)

5.1.2 Kosteus

Ihminen kostuttaa tilaa haihduttamalla nestettä ihon kautta ja hengittämällä. Kesäaikaan Suomessa on optimaalinen tilanne suhteellisen kosteuden suhteen sisätiloissa. Talvella sisätiloissa vesipitoisuus on pieni ilmassa, koska pakkasella vesipitoisuus on pieni. Suhteellinen kosteus ilmassa tarkoittaa tiivistymiskosteuteen (100 %) verrattuna olevaa vesihöyryn määrää ilmassa.

(Seuri, Palomäki 2000, 37 ; Sisäilmaopas 1 1997, 11.)

Sisäilmaa voidaan kosteuttaa koneellisesti, mutta silloin on syytä pitää huolta ilmankostuttimien hygieniasta. Vaarallinen mikrobikasvusto voi päästä hengitysilmaan puutteellisen hygienian vuoksi. Koneellisesti lisätty kosteus huonelämpötilan ollessa 21 °C on energiankäyttöön ja terveyteen liittyvien näkökohtien kannalta edullisin 25 - 60 % välillä. (Seppänen 1996, 24.)

Kosteuden suositusarvot

Suositusarvot kosteudelle määräytyvät sen mukaan, että liian kuivassa ilmassa ihmiset kokevat silmän sidekalvon, hengitysteiden limakalvojen ja ihon kuivumista. Jos kosteutta on liikaa, voi rakenteisiin syntyä mikrobikasvustoja ja siten lisätä punkkien esiintymistä. Tavoitearvoiksi huonetilan suhteelliselle kosteudelle on talviajalle annettu 25-45 % ja kesäajalle 30-60 %. Rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto, on tavoitearvoja kuivempi ilma. (Seuri & Palomäki 2000,37.)

Tavoiteltava kosteus lämmityskaudella on 30-40 %. Lämmityskaudella suhteellinen kosteus ei saisi ylittää maksimissaan 45 %. Lämpötilan laskeminen 21-22 °C auttaa, jos ilma tuntuu kuivalta, pölyiseltä ja tunkkaiselta. (Rakentaja 2009.)

Kosteus mittausten tekeminen

Ilman kosteusmittaus tehdään standardin 5511 kohdan 8 mukaan. Ilman suhteellinen kosteus on vakio isossakin huoneessa, minkä vuoksi mittaus tehdään yhdestä pisteestä oleskeluvyöhykkeellä. Kosteus voi poiketa paikallisten kosteuslähteiden lähellä. (SFS 5511 1989, 7-8.)

Mittalaitteena käytetään sähköistä Vaisalan valmistamaa mittalaitetta. Mittalaite on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1: Kosteus ja lämpötilamittari

5.2 Hiilidioksidi (CO₂) sisäilmassa

Pääosin sisäilman hiilidioksidi on peräisin ulkoilmasta. Pitoisuus ulkona on noin 350 ppm. Sisäilmassa tärkein lähde on ihmisten uloshengitysilma, ja siksi sisäilman kohonnut hiilidioksidipitoisuus johtuu ihmismäärästä ja ilmanvaihdosta. Sen vuoksi hiilidioksidipitoisuus on ilmanvaihdon riittävyyden mittari.

Pitoisuuksilla, joilla hiilidioksidi esiintyy sisätiloissa (350-2500 ppm), ei ole suoria terveydellisiä vaikutuksia. Hiilidioksidipitoisuus saattaa kohota luokkatilassa oppitunnin aikana, silloin ilma tuntuu tunkkaiselta. Korkea pitoisuus voi aiheuttaa väsymystä, päänsärkyä ja työskentelytehon huonontumista, keskittymiskyvyn herpaantumista ja haukottelua.

Mikäli sisäilman hiilidioksidipitoisuuden perusteella säädetään sisäilmaan tulevia ulkoilmavirtoja, tulee säätöarvona käyttää korkeintaan pitoisuutta 800 ppm. (Haahtela, Nordman ja Talikka 1993, 64-65.)

5.2.1 Hiilidioksidin mittaaminen

Hiilidioksidi pitoisuuden mittaaminen reaaliajassa osoittavilla mittalaitteilla on vaivatonta (Aurola & Välikylä 1997,92-93).

Mittauksissa käytettiin Vernierin jatkuvatoimista hiilidioksidimittalaitetta.

Vernierin CO₂-anturi mittaa pitoisuutta 0-100 000 ppm. CO₂-BTA anturilla on kaksi mittaus aluetta. Tarkkuus normaalipaineessa on 0-1000 ppm alueella ± 100 ppm. Korkeammalla alueella 1000-5000 ppm tarkkuus on ± 10 %. Mittalaite on esitetty kuvassa 2.(Vernier 2009.)



Kuva 2: Vernierin hiilidioksidi mittari

5.2.2 Suositusarvot hiilidioksidille

Hiilidioksidi kuuluu niihin harvoihin epäpuhtauksiin, joiden enimmäispitoisuuksista on tehty Suomessa viranomaispäätös. Terveys ja sisäilma -kirjassa todetaan: ” Valtioneuvoston päätöksen mukaan (No 537/84) hiilidioksidin ulkoilman ohjearvo vuorokausikeskiarvoksi on 150 µg/m³ (tuntikeskiarvo 300 µg/m³). Vuonna 1987 ilmestyneen Suomen rakentamismääräyskokoelman (D2-rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihdon määräykset ja ohjeet) mukaan sisäilman hiilidioksidipitoisuuden tulee alittaa 2500 ppm (cm³/m³), josta enintään 1500 ppm saa olla ihmisistä peräisin. Työsuojeluhallituksen suositus, ns. HTP- arvo (haitalliseksi todettu pitoisuus) työpaikan ilmassa on 500 ppm.”(Haahtela, Nordman & Talikka 1993, 64-65.)

Vuonna 2008 tehdyssä sisäilmastoluokituksessa hiilidioksidin tavoitearvot ovat muuttuneet rakentamismääräys kokoelmasta. Sisäilmastoluokituksessa on luokiteltu suositusarvot hiilidioksidille on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2: Hiilidioksidin suositusarvot (Sisäilmastoluokitus 2008 2008,11.)

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuus [ppm]	<750	<900	<1200

Taulukossa esitetyt suositusarvot koskevat ihmisperäistä hiilidioksidia (Sisäilmastoluokitus 2008 2008, 11).

5.3 Vetoisuus

Lämmön siirtyminen iholta synnyttää vedon tunteen. Lämmön siirtymiseen vaikuttaa ilman nopeuden lisäksi lämpösäteily ja vähäinen vaatetus. Herkkiä alueita kehossa ovat nilkat, niska ja pää, mutta vedon tunne on yksilöllinen. Ilman nopeudesta ja sen lämpötilasta riippuu vedosta aiheutuva haitta. (Seuri & Palomäki 2000, 36.)

Veto ei aiheuta sairauksia, mutta se voi edesauttaa alhaisissa lämpötiloissa kylmän tunnetta. Puolestaan korkeissa lämpötiloissa se edesauttaa lämmönsietoa. Tavoitearvot ovat matalammat tästä syystä matalammat kylmässä ja korkeammat lämpimässä. Tilapäisesti vedon tunnetta voidaan vähentää nostamalla lämpötilaa, jos halutaan päästä pysyvään ratkaisuun pitää poistaa vedon aiheuttaja tilasta. Tämä tarkoittaa, että ikkunapuitteiden karmit täytyy tiivistää uudelleen. Vetoa saattaa tulla myös ovista, joten niidenkin tiivistäminen on huomioitava. Kovalla pakkasella ikkunavuotojen aiheuttamaa vedon tunnetta ei voida täysin ehkäistä. Ikkuna tai kylmä seinäpinta aiheuttaa vetoa lattian rajassa, kun kylmä ikkunapinta jäähdyyttää ilman ja ilma virtaa alaspäin. Että veto voidaan ehkäistä, ikkunan alla tulee olla lämmin patteri. Koneellinen ilmastointi voi myös aiheuttaa ilmavirtauksia, jotka vahvistavat vedon tunnetta. (Aurola & Välikylä 1997, 25-26.)

Korvausventtiili, joka on asennettu ulkoseinään, on yleinen vedon aiheuttaja. Korvausilman johtaminen huoneeseen ilman vetoa on erittäin vaikeaa. Koska ilmantulo huoneeseen on varmistettava, venttiiliä ei saa sulkea. Tuloilman ja huoneilman on sekoitettava riittävästi ennen virtaamista oleskeluvyöhykkeelle. On myös huomioitava että kalustus, verhot ja muut vastaavat muuttavat virtauksen suuntaa. Ilman virtausta voidaan ehkäistä suuntaamalla virtaus ylöspäin. Toinen vaihtoehto on avata muita venttiilejä huoneesta, jolloin ilman virtaus pienenee. (Aurola & Välikylä 1997, 25-26.)

5.3.1 Vetoisuudessa käytetyt mittalaitteet ja mittausten suoritus

Vetoisuus mitattiin Envic DM100 mittarilla. Se mittaa ilmanvirtausta alueella 0,1-20 m/s. Anturina käytettiin vakioämpötila anturia. Anturi muodostuu kahdesta pienestä termistorista, joista toinen on vakioämpötilassa ja toinen mittaa väliaineen lämpötilassa tapahtuneet muutokset. Anturin aktiivinen alue ulottuu anturin päädyistä noin 5 mm päähän. Anturi mittaa alueen läpi kulkevaa virtausta. Liiallista anturin koskettelua on vältettävä, koska se voi nostaa anturin lämpötilaa. (Envic mittalaitteen käyttöohje).

Mittalaite on esitetty kuva 3.



Kuva 3: Vetoisuus mittari

Mitattaessa vetoa tulisi apuna käyttää merkkisavua, että ilman liikkeitä pystytään seuraamaan. Mittauksissa mitattiin vetoisuutta työskentelypisteiden läheisyydessä, koska savu seurannalle ei ollut mahdollisuutta. (SFS 5511 1989, 7.)

5.3.2 Suositusarvot vetoisuudelle

Suositusarvot ilman liikenopeudelle on määritetty Sisäilmastoluokitus 2008:assa. Ilman liikenopeuden suositusarvot on esitetty taulukossa 3.

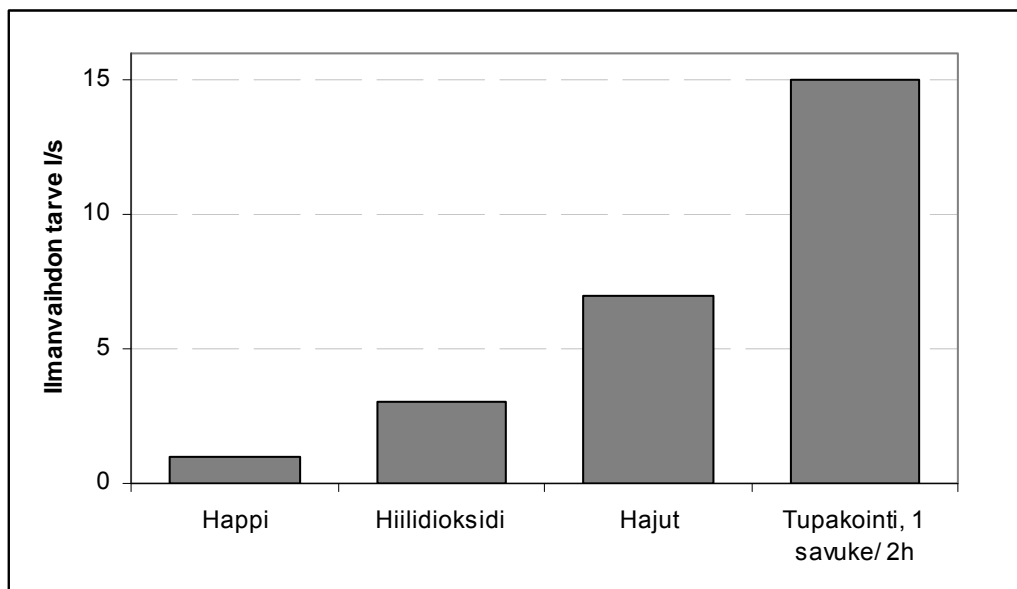
Taulukko 3: Ilman liikenopeuden suositusarvot (Sisäilmastoluokitus 2008 2008,11.)

	S1	S2	S3
Ilman liikenopeus [m/s]			
$t_{\text{ilma}} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$	<0,14	<0,17	0,2 (talvi)
$t_{\text{ilma}} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$	<0,16	<0,20	
$t_{\text{ilma}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$	<0,20	<0,25	0,3 (kesä)

Lämpötila (t_{ilma}) on tarkastelupisteessä olevan liikkuvan ilman lämpötila ja ilman nopeus on kolmen minuutin keskiarvo (Sisäilmasto 2008 2008, 11).

5.4 Ilmamäärät

Kaikissa rakennuksissa perusilmanvaihdoksi riittää 0,2 l/s neliometriä kohden. Kuitenkin korvausilman määrän tulisi olla noin 4 l/s, ettei ihmisen tuottaman hiilidioksidin määrä nouse liian korkeaksi. Korvausilmaa tarvitaan enemmän, koska asunnoissa ja muissa tiloissa on lähteitä, jotka aiheuttavat ilmaan lisää epäpuhtauksia. Niiden poistamiseksi tai vähentämiseksi korvausilmaa tulisi olla 7 l/s henkilöä kohden. Avaamalla ikkunoita tai ovia voidaan vähentää tilapäisiä kuormitushuippuja. Kuviossa 1 on esitetty muutaman sisäilmanlaatuun vaikuttavan aineen ilmanvaihdon tarve l/s henkeä kohden tavallisessa työhuoneessa. (Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka 1996, 164.)

**Kuva 4:** Ilmanvaihdon tarve neljän kriteerin mukaan (Seppälä, Seppälä 1996, 164).

Kuvasta 4 voi nähdä että ilmastoinnin tarve lisääntyy, kun tilassa on epäpuhtauslähteitä.

5.4.1 Mittalaitteet ja mittauksen suoritus

Ilma määriä mitaan SwemaAir 300 mittarilla, jossa käytetään SwemaFlow 125 mittaus suppiloa. Mittalaitteella voi mitata, sekä tulo- että poistoventtiilistä.

Mittari kytkettiin päälle ja mittausmenetelmäksi valitaan BP eli Backpressure. Mitattaessa suuri ilmamääräisiä tiloja joissa on pienet painehäviöt on BP-menetelmä paras mittaus vaihtoehto. Silloin mittaus tilanteessa käytetään kuristusrengasta, jolloin painehäviö laskennallisesti korjaantuu. (SwemaAir 300 käyttöohje, 44-48.)

Poistoventtiileistä ilmamäärät mitattiin SwemaAir mittalaitteella dPF toiminnolla. Silloin käytetään hyväksi venttiilin valmistajan antamaa k- kerrointa. Mittauksissa käytettiin aiemmin käytettyä k-kerrointa, joka oli 2,40.

5.4.2 Ilmamäärät koetiloissa

Mitattavissa koetiloissa ilmamäärät on mitattu ilmanvaihtolaitteiden käyttöönoton yhteydessä. Työhuone tilojen ilmamäärä mittauksen tuloksia ei löytynyt, jonka vuoksi vertaustuloksia ei ole uusille mittauksille. Luokkatiloista puolestaan löytyi mittaus tulokset. Tuloilman käyttöönottoarvot on esitetty taulukossa 4 ja poistoilman taulukossa 5.

Taulukko 4: Tuloilman ilmamäärä arvot luokka tiloissa

tila	Venttiilityyppi	Koko	Suunniteltu (l/s)	Mitattu (l/s)
B3-17	10 x BRTG	2700		
	4 x RHKP	125	420	420
B4-25	4 x RHKP	160	300	300

Taulukko 5: Poistoilman ilmamäärä arvot luokka tiloissa

tila	Venttiilityyppi	Koko	Suunniteltu (l/s)	Mitattu (l/s)
B3-17	3 x USR	400 x150	420	420
B4-25	2 x USR	400 x150	300	300

RHKP- venttiilit ovat hajotin venttiilejä. Tämä tarkoittaa, että ilma sekoittuu hyvin ja heittokuvio on lyhyt. Heittokuvio on tasapainoviiva, joka on määritetty ilmasuihkun loppunopeudesta. (Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto 1996, 168).

USR- venttiili tarkoittaa säleikköä, joka on tarkoitettu poistoilmalaitteeksi (Fläkt Woods 2009).

Työhuoneissa on poistoilmaventtiileinä pienille ilmavirroille soveltuvat venttiili ratkaisut. Poistoveniilit ovat verrattavissa Fläkt Woodsin KSO- venttiileihin. Kyseiset venttiilit on tarkoitettu tiloihin, joissa tarvitaan hyvää äänenvaimennus kykyä. Työhuoneiden suositusarvona tuloilmaventtiileille 50 l/s.

6. Mittaustulokset

Mittaukset ajoittuivat syyskuun 2009 loppuun. Työhuoneet mitattiin peräkkäisinä päivinä viikolla 38. Luokissa tehdyt mittaukset tein lokakuussa 2009.

Mittaukset suoritettiin tiloissa aamulla ja iltapäivällä. Mittaustulokset eri suureista otin ylös 10 minuutin välein. Iltapäivällä mitattiin tiloissa olevista tulo- ja poistoilmaventtiileistä ilmamäärät.

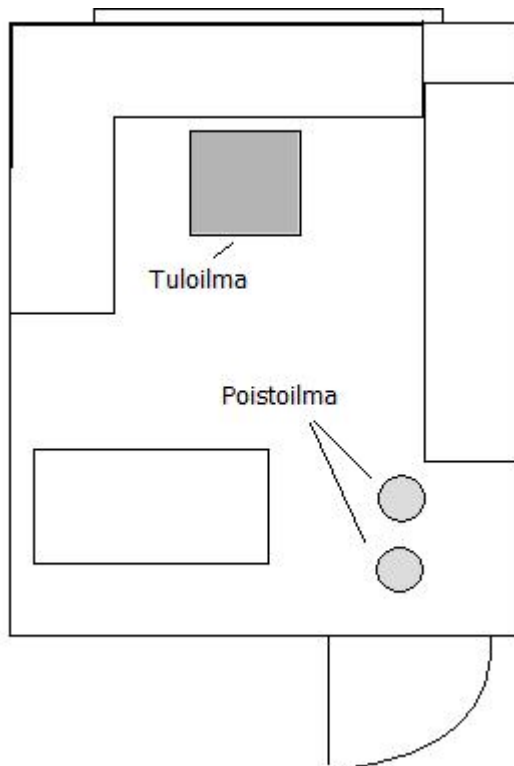
6.1 Mittaus tulokset työhuoneista

Työhuone B1-60 ja B1-59 kuuluvat ilmanvaihtokone TK24:sen vaikutus piiriin. Koneen tuottamaa lämpötilaa säädetään ulkolämpötilaa kompensoiden. Koneisto käy koko ajan.

6.1.1 B1-60 työhuoneen mittaustulokset

Työhuoneessa (B1-60) mittaukset suoritettiin maanantaina 21.9.2009 klo 9.00 ja klo 14.00. Molemmilla mittauskerroilla tiloissa mitattiin tunnin ajan.

Tila on yhdenhengen toimisto, jossa saattaa päivän aikana käydä asiakkaita. Huoneessa on yksi iso ikkuna, jonka edessä työskentelypiste on. Tilassa on kaksi poistoilmaventtiiliä ulko-oven luona ja yksi tuloilmaventtiili työpisteen yläpuolella. Tilassa on myös liikuteltava patteri, joka on ollut päällä, kun tilassa on ollut kylmä. Kuvassa 5 on esitetty suuntaa antava pohjapiirustus työhuoneesta, jossa näkyy ilmanvaihtoventtiilien sijainnit.



Kuva 5: Pohjapiirroskuva ilmanvaihtoventtiilien sijainnista työhuoneessa B1-60

Aamu mittauksen aikana tilassa ei ollut kukaan käynyt. Tilaa ei ollut tuuletettu. Työhuoneeseen tuli mittauksen puolessavälissä toinen henkilö ja tietokone laitettiin päälle. Mittaustulokset aamulta on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6: B1-60 Aamun mittaustulokset

Aika	CO ₂ /ppm	Kosteus %	T/°C	v/m/s
9:05	541	42,5	23,3	0,04
9:15	583	48,2	22,3	0,04
9:25	586	48,2	22,4	0,03
9:35	598	47,8	22,6	0,03
9:45	662	48,4	22,7	0,04
9:55	632	47,5	22,7	0,03
10:05	608	47	22,8	0,03
Keskiarvo	601	47	23	0,03

Ulkolämpötila oli mittaushetkellä 12 °C ja ulkoilman kosteus oli 98 %. Ilmanpaine oli 1010 hPa (hehtopascalina). (Ilmatieteenlaitos 2009.)

Ennen iltapäivän mittausta työhuonetta oli käytetty normaalilla tavalla. Tilassa oli ollut useampi henkilö hetken aikaa, ja ovea oli pidetty auki. Mittauksen alkaessa huoneessa oli kolme henkilöä. Puolessa välissä mittausta oli tilassa yksi henkilö ja loppumittauksen aikana tilassa oli kaksi henkilöä. Taulukossa 7 on esitetty mittaustulokset iltapäivältä.

Taulukko 7: B1-60 Iltapäivän mittaustulokset

Aika	CO ₂ /ppm	Kosteus %	T/°C	v/m/s
14:04	961	37,5	24,5	0,02
14:14	891	41,3	23,8	0,02
14:24	974	42,1	23,8	0,02
14:34	963	41,1	23,7	0,02
14:44	923	40	23,7	0,02
14:54	905	39,2	23,7	0,03
15:04	884	38,6	23,7	0,02
Keskiarvo	929	40	24	0,02

Ulkolämpötila oli 14,3 °C ja ulkoilmankosteus oli 70 %. Ilmanpaine mittaushetkellä oli 1010 hPa. (Ilmatieteenlaitos 2009.)

Ilmamäärä mittaus tilasta tehtiin iltapäivällä. Jokaisesta venttiilistä tehtiin viisi mittausta joiden perusteella laskettiin keskiarvo. Ilmamäärä mittauksen tulokset on esitetty taulukossa 8.

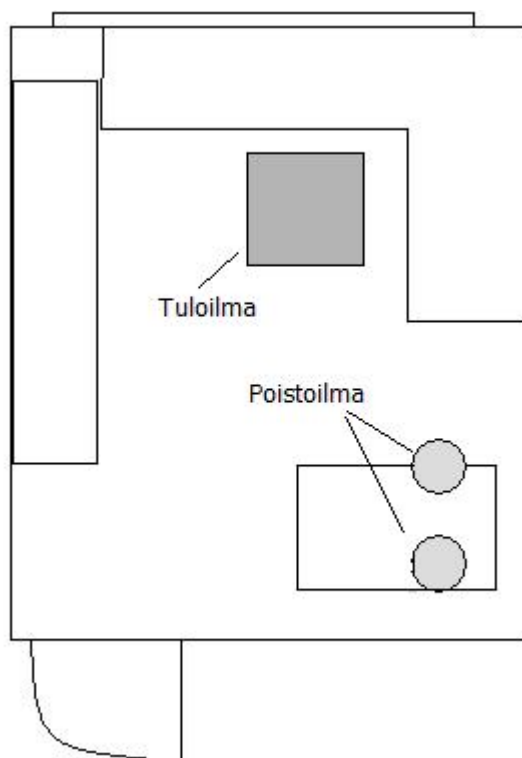
Taulukko 8: ilmamäärä mittaus tilasta B1-60

B1-60	Tuloilmaventtiili (m ³ /h)	Poistoilmaventtiili 1 (m ³ /h)	Poistoilmaventtiili 2 (m ³ /h)
1	71,6	69,6	96,5
2	74,5	65,6	96,3
3	77,1	67,3	95,8
4	73,1	67,6	95,9
5	77,9	71,8	96,0
Keskiarvo	74,8	68,4	96,1

6.1.2 Mittaustulokset huoneesta B1-59

Huoneessa B1-59 mittaukset tehtiin tiistaina 22.9.2009 klo 9.00 ja 14.00. Tila on työhuoneen B1-60 peilikuva. Molemmilla mittauskeroilla mittasin tunnin ajan.

Ennen aamun mittausta tilassa oli työskennelty. Mittaus tilanteessa olin työtilassa yksin, lukuun ottamatta toisen henkilön käyntejä työhuoneessa. Tilassa oli kaksi poistoilmaventtiiliä ja yksi tuloilmaventtiili. Poistoilmaventtiilit sijaitsivat ulko- oven läheisyydessä oven vastakkaisella puolella. Tuloilmaventtiili sijaitsee työpisteen yläpuolella. Tuloilmaventtiilistä oli ikkunaan päin oleva reuna tukittu vaahtomuovilla. Kuvassa 6 on esitetty periaatteellinen pohjapiirustus ilmanvaihtokanavien sijainnista työhuoneessa.



Kuva 6: Ilmanvaihto kanavien sijainti työhuoneessa

Aamumittauksen tulokset on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9: B1-59 aamun mittaustulokset

Aika	CO ₂ /ppm	Kosteus %	T/°C	v/m/s
9:00	720	37,7	23,4	0,03
9:10	735	39,9	23	0,03
9:20	681	39,6	23,1	0,03
9:30	714	39,7	23,1	0,03
9:40	677	39,1	23,2	0,03
9:50	692	39	22,9	0,03
10:00	733	39,8	23	0,03
Keskiarvo	707	39	23	0,03

Aamun mittaushetkellä ulkoilman lämpötila oli 9,8 °C. Kosteusprosentti mittauksen aikana ulkona oli 96 % ja paine 1008 hPa. (Ilmatieteenlaitos 2009.)

Iltapäivän mittauksen aikana, työhuone oli ollut hetken tyhjillään. Mittaustilanteessa tilassa oli kaksi henkilöä. Tilassa oli ollut tietokonepäällä melkein koko työpäivän. Taulukossa 10 on esitetty iltapäivän mittaustulokset.

Taulukko 10: B1-59 iltapäivänmittaustulokset

Aika	CO ₂ /ppm	Kosteus %	T/°C	v/m/s
14:08	784	38	23,8	0,08
14:18	680	40,5	23,3	0,09
14:28	745	41,6	23,2	0,08
14:38	830	44	23,3	0,08
14:48	877	44,5	23,2	0,08
14:58	806	43,6	23,1	0,08
15:08	727	42	23,2	0,08
Keskiarvo	778	42	23	0,08

Iltapäivän mittauksen aikaan ulkoilman lämpötila oli 14,6 °C. Iltapäivällä kosteusprosentti ulkona oli 74 % ja ilmanpaine oli 1006,3 hPa. (<http://www.fmi.fi/saa/paikalli.html?kunta=Tampere.>)

Tilassa B1-59 ilmamäärä mittaus tehtiin myös iltapäivällä. Mittaus tehtiin samalla tavalla kuin tilasta B1-60 eli viisi mittausta joka venttiilistä ja arvoista laskettiin keskiarvo. Tulokset on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11: Ilmamäärät venttiileistä tilassa B1-59

B1-59	Tuloilmaventtiili (m ³ /h)	Poistoilmaventtiili 1 (m ³ /h)	Poistoilmaventtiili 2 (m ³ /h)
1	87,6	87,4	105,9
2	78,7	68,9	107,1
3	77,1	71,4	117,4
4	75,2	71,4	106,7
5	79,9	69,6	111,4
Keskiarvo	79,7	73,7	109,7

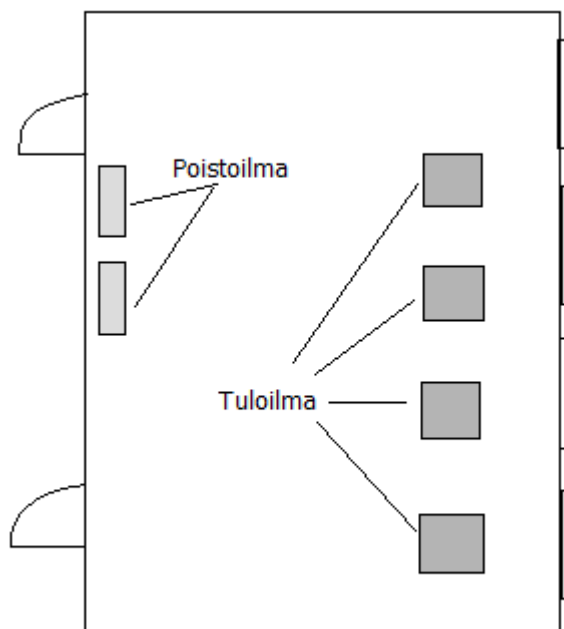
6.2 Mittaukset luokista

Luokkatiloissa mittaukset suoritettiin viikoilla 40- 45. Luokassa B4-25 mittasin keskiviikkona 30.9 ja vertailuluokassa B3-17 tein mittaukset maanantaina 5.10.2009. Molemmat luokat ovat eri ilmanvaihokoneiden alla. Luokka B4-25 kuuluu TK23 vaikutuspiiriin ja B3-17 kuuluu TK22 alaisuuteen. Molemmissa ilmanvaihtolaitteissa tuloilman lämpötilaa säädetään kompensoiden ulkolämpötilaa. (Ojala)

6.2.1 Luokka B4-25

Mittaukset luokassa B4-25 tein 30.9.2009 klo 8.00 ja 14.00. Molemmilla mittauskerroilla mittasin perussuureita tunnin verran. Luokka on niin sanottu kurssiluokka, joten luokassa ei ole päivittäin opetusta. Kurssit kestävät yleensä koko päivän ja tila on täynnä ihmisiä.

Ennen aamun mittausta luokkatilassa ei ollut opetusta. Tilassa on työpisteet 38 henkilölle. Kuvassa 7 on esitetty luokan B4-25 suuntaa antava pohjapiirros mihin on merkitty tuloilmanvaihtokanavat ja pistoilmanvaihtokanavat.



Kuva 7: ilmanvaihtoratkaisut luokkatilassa B4-25

Taulukossa 12 on esitetty aamulla luokasta saadut tulokset.

Taulukko 12: B4-25 aamunmittaukset

Aika	CO ₂ /ppm	T/°C	Kosteus %	v/m/s
7:59	666	23	23,3	0
8:09	558	22,4	24,6	0
8:19	559	22	25,1	0
8:29	549	21,4	26,1	0
8:39	540	22,1	25	0
8:49	549	21,9	25,5	0
8:59	562	22,4	24,7	0
Keskiarvo	569	22,2	24,9	0

Lämpötila oli ulkona mittaushetkellä 3 °C. Ilmankosteusprosentti oli 94 % ja ulkoilmanpaine 999 hPa. (Ilmatieteenlaitos 2009.)

Ennen Iltapäivän mittausta luokassa ei ollut pidetty tunteja. Iltapäivällä luokassa oli mittauksen aikaan kaksi ihmistä. Taulukossa 13 on esitetty sisäilman perus suureiden mittaustulokset.

Taulukko 13: B4-25 iltapäivän mittaus

Aika	CO ₂ /ppm	T/°C	Kosteus %	v/m/s
13:50	711	23,6	22	0,02
14:00	571	23,1	23	0,02
14:10	560	22,8	23,7	0,01
14:20	570	22,4	25,9	0,01
14:30	574	23	24,3	0,01
14:40	580	22,9	25,2	0,02
14:50	570	23,6	24,6	0,01
keskiarvo	591	23,1	24,1	0,01

Iltapäivä mittausten aikana ulkona oli 7 °C lämmintä. Kosteusprosentti oli 85 % ja ilmanpaine 999 hPa. (Ilmatieteenlaitos 2009.)

Kuten toimistotiloissa ilmamäärä mittaukset tehtiin iltapäivällä. Luokka tilassa oli neljä tuloilmaventtiiliä ja kaksi poistoilmaventtiiliä. Ilmamäärämittauksista saadut tulokset on esitetty taulukossa 14. Mittaustulosten perusteella on laskettu keskiarvo.

Taulukko 14: Tuloilma venttiilit luokassa B4-25

Mittaus	Tuloilma 1 (m ³ /h)	Tuloilma 2 (m ³ /h)	Tuloilma 3 (m ³ /h)	Tuloilma 4 (m ³ /h)
1	243,4	187,8	282,5	237,2
2	277,7	218,2	247,1	257,3
3	315,7	214,5	263,1	245,4
4	276,6	203,2	256,2	253,8
5	234,5	185	248,7	240,6
Keskiarvo	269,6	201,7	259,5	246,9

Poistoilma venttiileistä mitatut ilmamäärät on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15: Poistoilma venttiin ilmamäärät

Poistoilma 1 (m ³ /h)	Poistoilma 2 (m ³ /h)
31,6	31,5

Luokasta mitattiin perusilman suureet oppitunnin aikana. Mittaus alkoi heti oppitunnin alettua ja loppui oppilaiden poistuessa luokasta. Luokassa oli mittauksen aikana 32 henkilöä. Mittaus suoritettiin yhdessä pisteessä, jotta oppitunti ei häiriintyisi. Taulukossa 16 on esitetty tunnin aikana luokassa tehdyt mittaus tulokset.

Taulukko 16: Oppitunnin aikaiset mittaukset

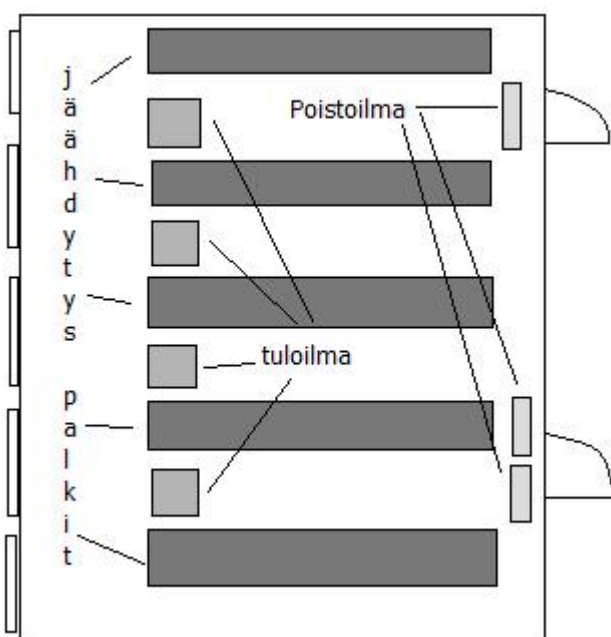
Aika	CO ₂ /ppm	T/°C	Kosteus %	v/m/s
9:30	433	22,7	20,2	0,03
9:40	455	22,7	20,8	0,07
9:50	534	23,1	21,2	0,09
10:00	600	23,2	21,5	0,03
10:10	623	23,4	21,5	0,08
10:20	632	23,5	21,3	0,07
10:30	657	23,6	21,5	0,04

Ulkoilmanlämpötila oli mittauksen aikana 2 °C, kosteusprosentti 81 % ja ilmanpaine 1015 hPa. (Ilmatieteenlaitos 2009).

6.2.2 Luokka B3-17

Luokassa B3-17 sisäilma mitattiin maanantaina 5.10.2009 klo 10.00 ja 15.00. Molemmilla mittauskerroilla mitattiin luokissa tunnin ajan perus sisäilman suureita. Lisämittaus normaalin oppitunnin aikana tehtiin keskiviikkona 21.10. Luokkatila on erilainen verrattuna B4-25 tilaan. B3-17 on rakennustekniikan tietokoneluokka ja opetus tila.

Tilassa on tietokoneita ja normaaleja työpisteitä. Tilassa on neljä tuloilmaventtiiliä ja neljä poistoilmaventtiiliä. Tilassa on myös viisi jäähdytyspaneelia. Kuvassa 8 on esitetty suuntaa antava pohjapiirros luokan ilmanvaihtoratkaisusta. Erona vertailu luokkaan B3-17 tilassa on jäähdytyspaneelit, joita tilassa on viisi kappaletta.

**Kuva 8:** B3-17 luokan ilmanvaihtoratkaisut

Aamupäivän mittauksen tulokset on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17: Luokan B3-17 aamun mittaustulokset

Aika	CO ₂ /ppm	T/°C	Kosteus %	v/m/s
9:15	330	21,3	26,8	0,09
9:25	330	20,3	29,6	0,1
9:35	330	20,5	29,4	0,04
9:45	340	20,1	30,4	0,02
9:55	336	20,4	29,5	0,06
10:05	343	20,9	28,7	0,05
10:15	342	20,3	29,4	0,08
Keskiarvo	336	20,5	29,1	0,06

Aamupäivä mittauksen aikana ulkoilman lämpötila oli 3,9 °C, kosteusprosentti oli 92 % ja paine 984,6 hPa (ilmatieteenlaitos 2009).

Ennen iltapäivän mittausta luokkaa oli käytetty normaalilla tavalla eli siellä oli ollut koko päivän ajan oppitunteja. Ennen iltapäivän mittausta luokasta poistui noin 20 oppilasta. Iltapäivän mittaus tulokset on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18: B3-17 Iltapäivän mittaustulokset

Aika	CO ₂ /ppm	T/°C	Kosteus %	v/m/s
15:02	673	22,7	25,3	0,03
15:12	578	21,6	26,1	0,01
15:22	510	20,8	26,8	0,01
15:32	482	21,3	25,5	0,02
15:42	454	21,3	25,1	0,02
15:52	447	21,6	24,7	0,01
16:02	532	21	24,6	0,03
Keskiarvo	525	21,5	25,4	0,02

Iltapäivällä ulkoilman lämpötila oli 4,2 °C, kosteusprosentti oli 76 ja ilmanpaine oli 994,3 hPa (Ilmatieteenlaitos 2009).

Iltapäivämittauksen yhteydessä mittasin ilmanvaihtokanavien ilmamäärät. Taulukossa 19 on esitetty tuloilmanvaihdon ilmamäärät.

Taulukko 19: Tuloilmanvaihdon ilmamäärät B3-17

Mittaus	Tuloilma 1 (m ³ /h)	Tuloilma 2 (m ³ /h)	Tuloilma 3 (m ³ /h)	Tuloilma 4 (m ³ /h)
1	99,8	91,2	84,1	73,3
2	86,5	86,4	80,7	79,6
3	93	80,8	89,3	71,7
4	78,9	71	82,5	70,1
5	83,5	84,7	78,1	74,3
Keskiarvo	88,3	82,8	82,9	73,8

Poistoilman määrät on esitetty taulukossa 19.

Taulukko 19: Poistoilma määrät luokassa B3-17

Poistoilma 1 (m^3/h)	Poistoilma 2 (m^3/h)	Poistoilma 3 (m^3/h)
33,0	33,6	34,5

Luokassa mitattiin normaalin oppitunnin aikana. Mittaus aloitettiin puolituntia ennen oppitunnin alkua ja sitä jatkettiin ensimmäiseen taukoon asti. Luokassa oli oppitunnin aikana 26 henkilöä. Tulokset on esitetty taulukossa 20.

Taulukko 20: Oppitunnin aikana tehty mittaus

Aika	CO_2/ppm	$T/^\circ\text{C}$	Kosteus %	$v/\text{m/s}$
8:40	473	19,4	38,9	0
8:50	371	19,2	46,5	0
9:00	397	20,8	24,7	0,01
9:10	410	20,4	25,6	0,01
9:20	433	20,2	26,4	0,01
9:30	560	20,8	27,1	0
9:40	620	20,7	27,7	0
9:50	668	21	28,1	0,01
10:00	730	21,3	28	0
10:10	629	21	27,2	0,02
Keskiarvo	529	20,5	30,0	0,01

Mittauksen aikana ulkoilman lämpötila oli $3,5^\circ\text{C}$, kosteusprosentti 83 % ja ilmanpaine 1026 hPa (Ilmatieteenlaitos 2009).

7. Tulostenkäsittely

Koska mittauskohteissani oli kaksi työhuonetta ja kaksi luokkaa tilaa, vertailen molempia pareja keskenään.

7.1 Työhuoneet

Koska työhuoneet ovat vierekkäin ja saman ilmanvaihtokoneen (TK24) alaisuudessa, pitäisi sisäilmansuureiden olla samaa luokkaa. Ainoa ero työhuoneiden välillä on, että poistoilmanvaihtokanavat on työhuoneessa B1-60 suoraan työhuoneen ulko-oven yläpuolella. Ilmamäärien pitäisi olla samaa suuruus luokkaa kuin suunnitellut arvot.

Molemmat työhuonemittaukset suoritin samoina kellonaikoina peräkkäisinä päivinä, joten ulkoilman lämpötilat, paineet ja kosteusprosentit eivät muuttunut suunnattomasti mittausten välillä.

7.1.1 Lämpötila, kosteusprosentti ja vetoisuus työhuoneissa

Molempina aamuina ilman lämpötila oli noin 10 °C, ilman kosteus oli yli 95 % ja ilman paine oli noin 1010 hPa. Iltapäivällä ulkolämpötila oli noin 14 °C, ilmankosteus oli noin 70 % ja ilmanpaine oli noin 1010 hPa. Ulkoilmatekijät pysyivät melkein samoissa arvoissa molempina päivinä, joten ulkoilmatekijöiden vaikutus sisäilmassa mitattuihin arvoihin pitäisi olla erittäin pieni.

Aamun- ja iltapäivän mittauksissa mittasin molemmista työhuoneista sisäilmanperussuureet. Tunnin mittauksen tuloksista laskin tilassa mittaushetkellä vallitsevan keskiarvon.

Vetoisuus työhuoneissa

Taulukossa 21 on esitetty vetoisuudet aamu ja iltapäivällä tiloissa.

Taulukko 21: Työhuoneiden vetoisuus

Vetoisuus m/s	B1-59	B1-60
Aamupäivä	0,03	0,03
Iltapäivä	0,03	0,03

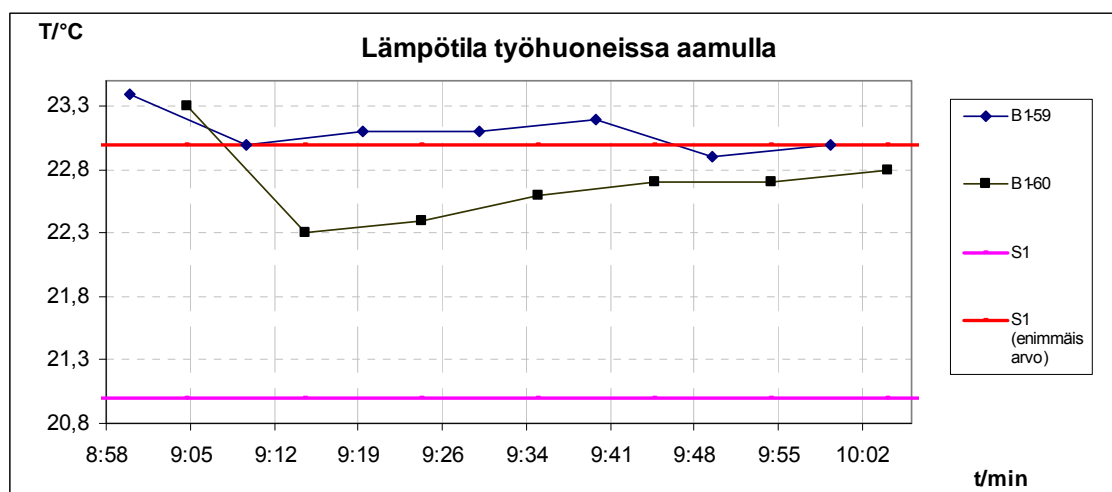
Taulukosta 21 näkee, että vetoisuutta ei ilmene kummassakaan työhuoneessa aamulla ja iltapäivällä. Kummankaan työhuoneen ongelmana ei ollut vetoisuus, mutta työhuoneen B1-59 ongelmaksi oli ilmoitettu tunkkainen ilma. Jos vetoisuus olisi isompi huoneessa B1-59, voisi olettaa, että ilma liikkuisi ilmanvaihtokanavien välillä enemmän.

Iltapäivällä lämpötilan kohotessa ulkona ilmanvaihdon pitäisi tehostua, mutta ainakaan vetoisuuden osalta ilmanvaihto ei huoneissa tehostu.

Nolla tulos molemmissa työhuoneissa on hyvä, sillä silloin haitallista vetoisuutta ei ainakaan synny. Haitallinen vetoisuus vaikuttaa ihmisiin erilailla, mutta eniten se vaikuttaa istumatyössä nilkkoihin ja niskaan. Työhuoneissa olevat vetoisuuden arvot ovat molemmat sisäilmastoluokituksen S1 luokan alapuolella. Sisäilmaston vetoisuuden tavoitearvot on esitetty taulukossa 3.

Lämpötila työhuoneissa

Lämpötila oli yksi ongelma kohdista työhuoneitten välillä. Kuvassa 9 on esitetty aamun mittausten tulokset kuvaajan muodossa.

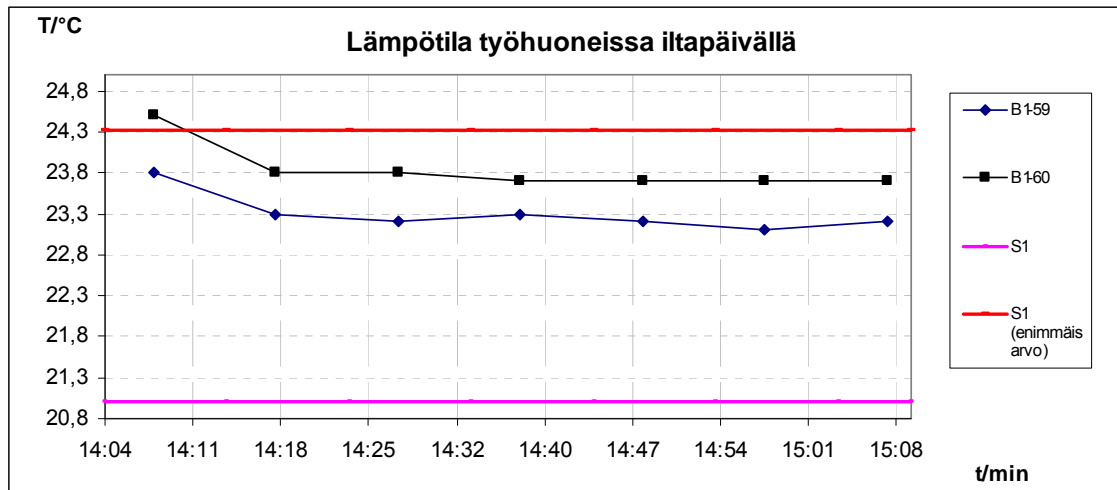


Kuva 9: Lämpötila aamulla työhuoneissa

Kuten kuvasta 9 näkee, on työhuoneessa B1-59 suurempi lämpötila. Ero ei ole suuri, mutta herkempi ihminen voi aistia lämpötilan varsin viileäksi tai kuumaksi. Työhuoneen B1-59 lämpötila kohoaa ylitse S1 ja S2 luokkien enimmäisarvon, koska kyseessä on sama enimmäisarvo.

Molempien tilojen arvot ovat yli taulukossa 1 esitettyjen S1 ja S2 suositusarvojen. Koska kyseessä on tilat, joissa normaalisti työskentelee yksi henkilö, lämpötilojen kohoaminen voi tuntua päivän mittaan suurelta.

Iltapäivän mittausten tulokset on esitetty graafisessa muodossa kuvassa 10.



Kuva 10: lämpötila työhuoneissa iltapäivällä

Iltapäivän mittaustulokset ovat päinvastaiset aamupäivän tuloksiin. Tulosten arviointiin on käytettävä taulukossa 1 esitettyä operatiivisen lämpötilan kaavaa ($21,5 + 0,3x(t_u - 10)$), koska lämpötila on taulukossa annettujen arvojen välissä ($10 \leq t_u \leq 20$). Operatiivisen lämpötilan arvoksi saadaan 22,7 °C luokissa S1 ja S2. Luokassa S3 operatiivisen lämpötilan arvoksi laskemalla saadaan 22,6 °C. Koska lämpötila saa enimmillään olla $\pm 1,5$ °C, on S1 luokan enimmäislämpötila 24,3 °C.

Kummassakin työhuoneessa arvot pysyvät samalla tasolla koko mittauksen aikana.

Työhuoneessa B1-60 oli koko mittauksen ajan ovi käytävään auki, jolloin ilma sekoittui käytävän ilmaan.

Kosteus työhuoneissa

Käytän tulosten käsittelyssä keskiarvoa mittaustuloksista, koska mittausta tehtäessä työhuoneen kosteuden ei pitäisi muuttua SFS standardin 5511 mukaan. Taulukossa 22 on esitetty aamu ja iltapäivän kosteusprosentit.

Taulukko 22: Työhuoneiden kosteusprosentit

Kosteus %	B1-59	B1-60
Aamupäivä	39	47
Iltapäivä	41	43

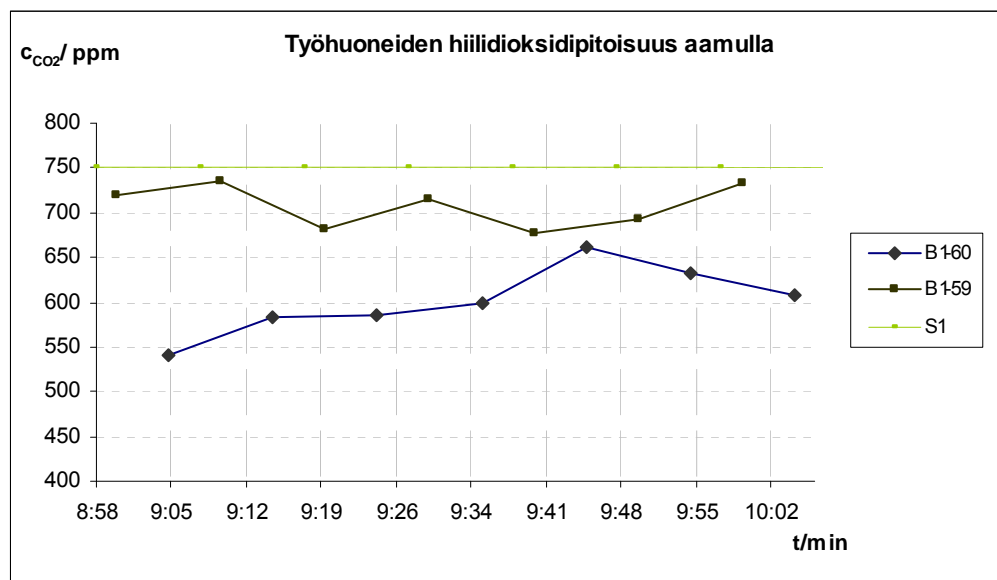
Kosteusprosentin pitäisi olla kesä ajalla 30-60 %. Koska mittaukseni ajoittui alku syksyyn, käytän kesä ajan arvoja vertailun kohteena. Molemmassa työhuoneissa on kosteusprosentti rajojen sisällä, joten vaarallista kosteutta ei huoneissa ole.

Aamun kosteus kohoama työhuoneessa B1-60 johtuu siitä, että ulkona satoi mittauksen aikana ja työhuoneeseen saapui mittauksen aikana ulkoa tullut henkilö. Tämä toi tilaan kosteutta, joka nostatti aamun kosteusprosentin keskiarvon tunnin ajalla 47 %.

7.1.2 Hiilidioksidipitoisuus työhuoneissa

Hiilidioksidi pitoisuus on verrannollinen tilassa, olevaan henkilö määrään. Koska molemmat tilat ovat ilmanvaihdollisesti samanlaiset ja mittaus hetkellä tiloissa oli saman verran henkilöitä voi tuloksia verrata keskenään. Tulokset on esitetty graafisessa muodossa kuvassa 11.

Kuvassa 11 on esitetty hiilidioksidi pitoisuus käyrät ja raja-arvo S1.



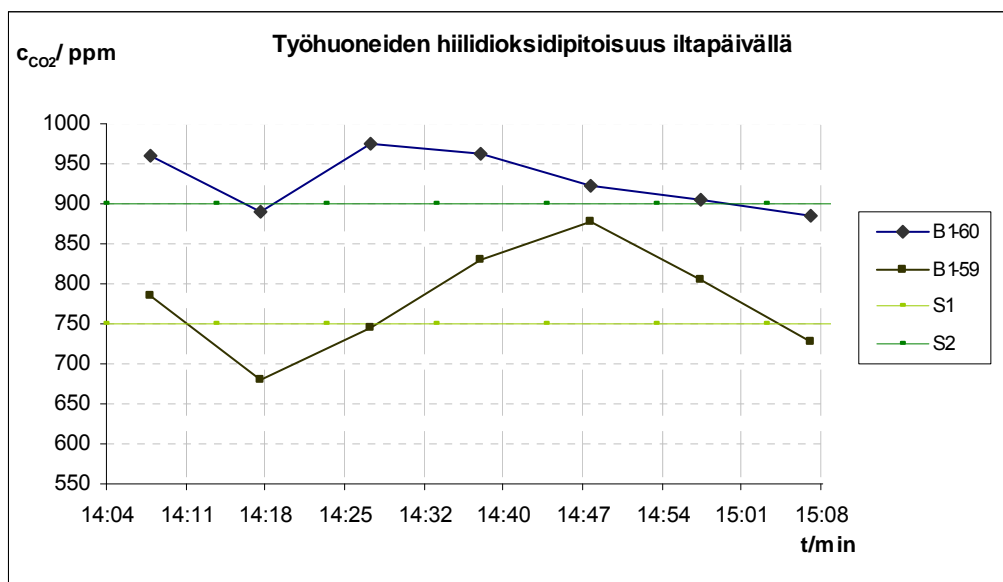
Kuva 11: Työhuoneiden hiilidioksidipitoisuus aamulla

Tiloissa olevat heittelyt aamun mittauksenaikana johtuivat tilan henkilö määrästä. Mittauksien aikana tilassa oli välillä kaksi henkilöä ja välillä yksi henkilö. Tila B1-59 oli myös ollut käytössä ennen aamun mittausta, joten se selittää suuren hiilidioksidipitoisuuden heti aamusta.

Kuvaajasta näkee sen, että työhuoneessa B1-59 on jo aamulla 100 ppm korkeampi hiilidioksidipitoisuus. Hiilidioksidi pitoisuus lähentelee jo taulukossa 2 esitettyä S1 luokan raja-arvoa.

B1-60 tilan hiilidioksidi pitoisuus nousee mittauksen edetessä. Mittauksen puolesta välissä tilaan tuli toinen henkilö, joka selittää hiilidioksidipitoisuuden nousun. Huomioimisen arvoista on, että mittaus on tehty heti työpäivän aluksi ja hiilidioksidipitoisuus on yhden ihmisen läsnä ollessa suhteellisen korkea.

Kuvassa 12 on esitetty työhuoneiden hiilidioksidipitoisuudet iltapäivällä ja raja-arvot. Mittaus hetkellä tiloissa oli kaksi henkilöä. Iltapäivällä tehtyjen mittausten tulokset on esitetty graafisessa muodossa kuvassa 12.



Kuva 12: Työhuoneiden hiilidioksidi pitoisuus iltapäivällä

Iltapäivän mittauksen aikaan tiloissa oli kaksi henkilöä. Kuten kuvasta 12 huomaa molemmissa työhuoneissa hiilidioksidi arvot nousevat S1 suositusarvon yläpuolelle ja lähelle S2 suositusarvoa (<900). Molemmissa työhuoneissa on iltapäivällä huono työskentely ilma. Hiilidioksidi pitoisuus vaikuttaa vireystilaan ja keskittymiseen, jolloin arvojen kohoaminen on huolestuttava asia.

B1-60 tilassa hiilidioksidiarvot ylittävät S2-luokituksen. Arvojen kohoaminen saattaa johtua siitä, että työhuoneen ovi oli mittausta tehtäessä auki, jolloin työhuoneessa oleva ilma sekoittui käytävän ilmaan.

Iltapäivän mittauksia tehtäessä työhuone B1-59 oli ollut jo hetken aikaa tyhjänä. Mittauksen aikana työhuoneen ovi oli myös kiinni, jolloin ilmanvaihto toimi suunnitellulla tavalla.

7.1.3 Ilmamäärät työhuoneissa

Ilmamäärät mitattiin työhuoneista iltapäivällä. Koska ilmamäärät on mitattu samaan aikaan ja ulkolämpötila on ollut melkein sama, pitäisi ilmamäärien olla samaa suuruusluokkaa molemmissa tiloissa. Taulukossa 23 on esitetty keskiarvoiset ilmamäärät molemmista tiloista.

Taulukko 23: Ilmamäärät työtiloissa

B1-59	Poistoilmaventtiili 1	Poistoilmaventtiili 2	Tuloilmaventtiili
Keskiarvo (m ³ /h)	79,7	73,7	109,7
Laskettu (l/s)	22,1	20,5	30,5
B1-60	Poistoilmaventtiili 1	Poistoilmaventtiili 2	Tuloilmaventtiili
Keskiarvo (m ³ /h)	68,4	96,1	74,8
Laskettu (l/s)	19,0	26,7	21,9

Mitoitusarvoksi tuloilmaventtiileille on annettu 50 l/s. Koska käyttöön otto arvoja ei pystytty paikallistamaan, pitää tuloksia verrata vain mitoitusarvoon.

Koska mitoitusarvot on annettu yksikössä l/s, on taulukkoon 23 laskettu venttiilien tuloilma- ja poistoilma-arvot l/s.

Molemmissa työhuoneissa poistoilmaventtiilit toimivat samansuuruisella teholla. Tuloilma venttiileissä on 10 l heitto. Mittaustulosten ero voi johtua oven auki olemisesta työhuone B1-60 aikana.

Poistoilmaventtiilien arvot ovat samaa suurusluokkaa, jolloin voisi olettaa, että poistoilma venttiilien mitoitusarvon pitäisi olla 20 l/s.

7.2 Luokkatilat

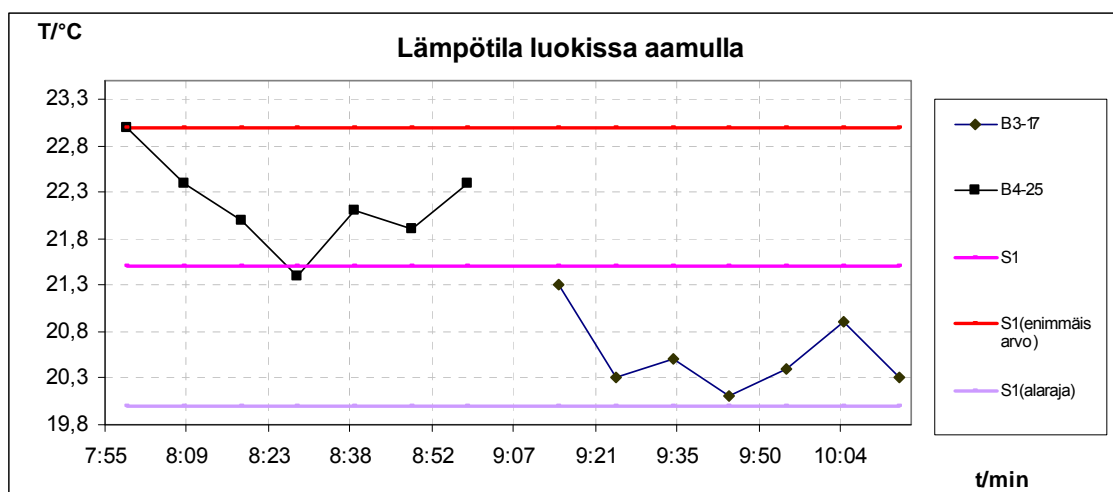
Luokkatilat eroavat ilmanvaihdon kannalta enemmän kuin valitut työhuoneet. Luokat kuuluvat eri ilmanvaihtokoneiden (TK22 ja TK23) piiriin, joten luokkiin tuleva ilma kulkee eri reittejä, jolloin ulkoilman vaikutus luokkien sisäilmanlaatuun suurenee. B3-17 luokassa on jäähdytyspaneelit ja luokka toimii Atk- luokkana. B4-25 ei ole jokapäiväisessä käytössä, vaan toimii koulutustilana.

7.2.1 Lämpötila, kosteusprosentti ja vetoisuus tyhjissä luokkatiloissa

Ulkoilman arvot olivat aamumittausten kohdalla suurin piirtein samat. Lämpötila oli noin 4 °C ja kosteusprosentti oli 93 %. Ilmanpaine erosi mittausta aamuina noin 10 hPa, mutta suuruus luokaltaan se oli 990 hPa. Iltapäivän mittausten aikaan arvot poikkesivat toisistaan enemmän. B4-25 mittausta tehtäessä oli lämpötila 3 °C suurempi ja kosteusprosentti 10 prosenttiyksikköä suurempi. Paine puolestaan oli noin 995 hPa.

Lämpötila tyhjissä luokkatiloissa

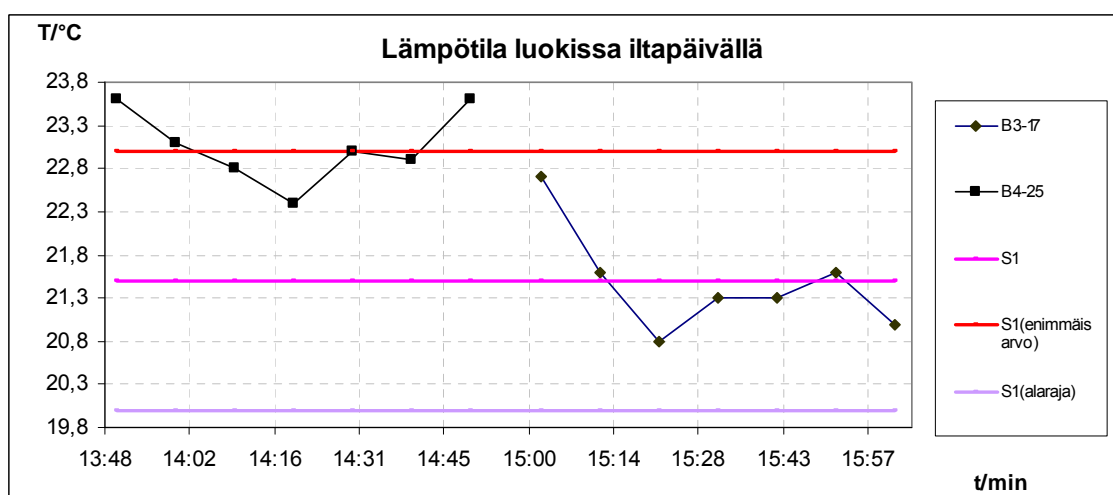
Lämpötila pitäisi SFS standardin mukaan mitata yhdestä pisteestä kerran ja sen pitäisi riittää kertomaan koko tilan lämpötilan. Mittauksissa mitattiin tunnin ajan luokissa. Luokkatilojen lämpötilat aamulla on esitetty graafisessa muodossa kuvassa 13.



Kuva 13: Lämpötilat luokissa aamuisin

Luokassa B4-25 aamun mittauksessa lämpötila on yli S1 raja-arvon, mutta enimmäisarvon alapuolella. B3-17 luokassa arvot menevät S1 suositusarvon alapuolelle, mutta ei mene S1-luokan alarajan alle. Käyrien vaihtelut saattavat johtua siitä, että mittasin lämpötilaa useammasta pisteestä luokissa, vaikka SFS 5511 suosittelee mittausten suoritusta yhdessä pisteessä. Molemmat tilat ovat suuria ja niissä on paljon kylmiä ikkunapintoja, jotka voivat aiheuttaa viileämpiä kohtia luokkiin

B3-17 tila on selvästi viileämpi tila jo aamulla. Iltapäivällä tilanne luokkien välillä ei tapahdu juurikaan muutosta. B3-17 luokka on iltapäivälläkin viileämpi, kuten kuvaajasta näkee, joka on kuvassa 14.

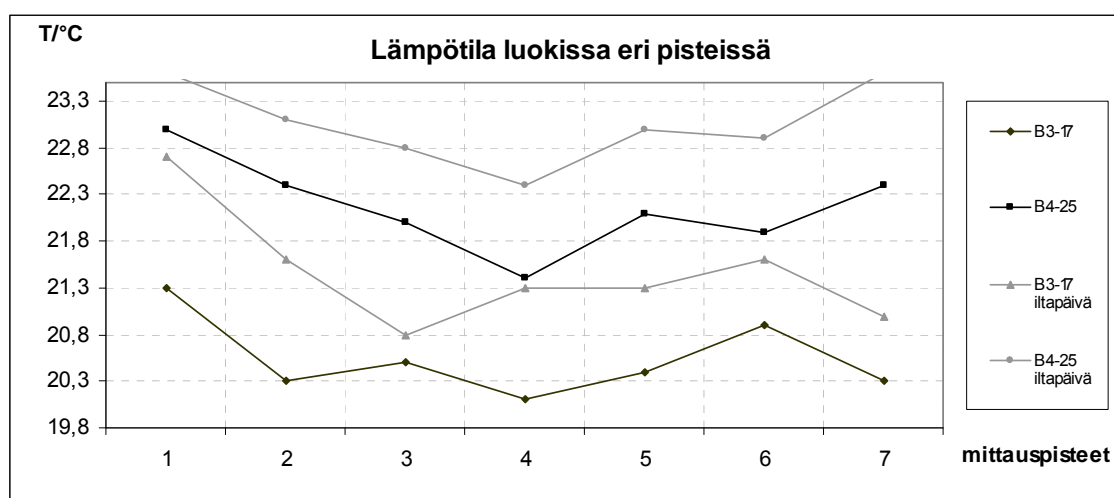


Kuva 14: Lämpötilat luokassa iltapäivällä

Kuvasta 14 näkee, että lämpötila kohoaa S1- luokan enimmäisarvon yläpuolelle tilassa B4-25. Puolestaan B3-17 luokan lämpötila jää iltapäivälläkin alle S1- arvon. Muutenkin molemmilla mittaus kerroilla B3-17 luokassa on yli asteen verran kylmempää.

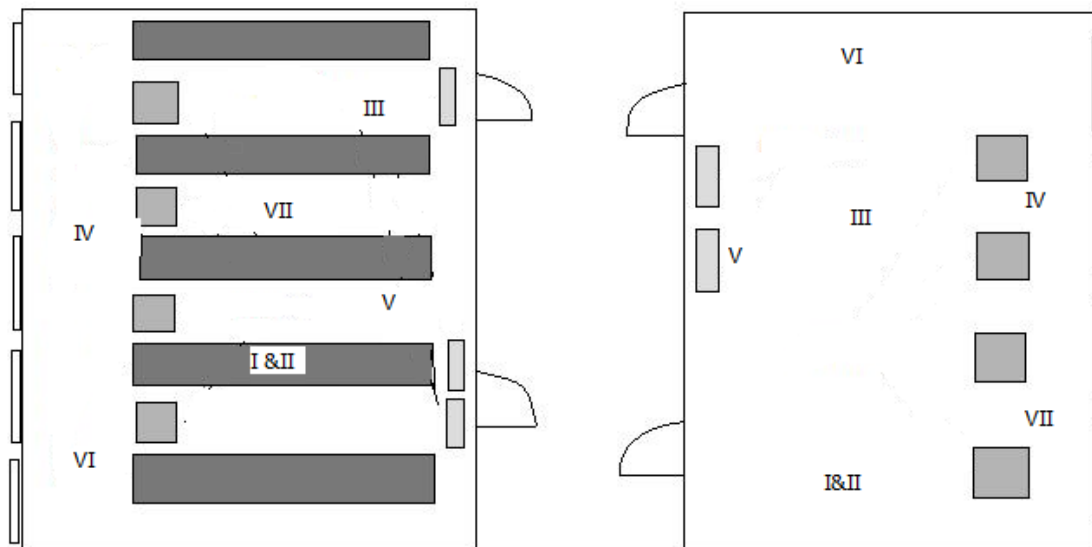
B3-17 luokassa oli loppunut tunti juuri ennen mittauksen alkua, jonka seurauksena lämpötila laskee luokassa lähes 2 °C verran. Lämpötilan lasku kertoo, että ilmanvaihto toimii ja ilmaa jäähdytetään, jottei se nousisi liian korkeaksi.

Mittausten aikana mittaria liikutettiin luokissa. Kuvassa 15 on esitetty kuvaajan muodossa lämpötilojen vaihtelut luokissa.



Kuva 15: Lämpötila eri pisteissä mittausten aikana

Kuvaajasta näkee kuinka lämpötila vaihtelee tiloissa. Kuvaajat ovat samankaltaisia luokan B4-25 kohdalla, vaikka lämpötila on kohonnut iltapäivällä asteen verran. Luokassa B3-17 kuvaajat eroavat toisistaan, mutta kuvaajista voi huomata myös kuinka luokassa B3-17 lämpötila vaihtelee. Eri mittauspisteet on esitetty kuvassa 16 roomalaisin numeroin.



Kuva 16: Mittauspisteet luokkatiloissa

Eli isossa luokassa mittaus pisteellä on vaikutusta lopputulokseen. Jos olisi mitattu vain yhdessä pisteessä koko ajan, olisi luokkien lämpötiloista saatu varsin erilaista tietoa.

Kosteus tyhjissä luokkatiloissa

Koska luokka tiloissa kosteus ja lämpötila mitattiin samalla mittarilla, on mittaus tehty eri pisteissä luokissa. Taulukossa 24 on esitetty keskiarvoiset kosteusprosentit luokista, koska kosteuden suositusarvot ovat vain talvi- ja kesäajalle.

Taulukko 24: keskiarvoiset kosteusprosentit luokista

Kosteus %	B3-17	B4-25
Aamupäivä	29	25
Iltapäivä	25	24

Taulukosta näkee että kaikki tulokset jäivät kesä ajan suositusarvojen alle (30-60%). Mittaukset tehtiin loppu syksystä, jolloin voisi käyttää talviajan suositusarvoja ovat 25-45%. Luokka B4-25 jää senkin alapuolelle iltapäivän mittauksissa.

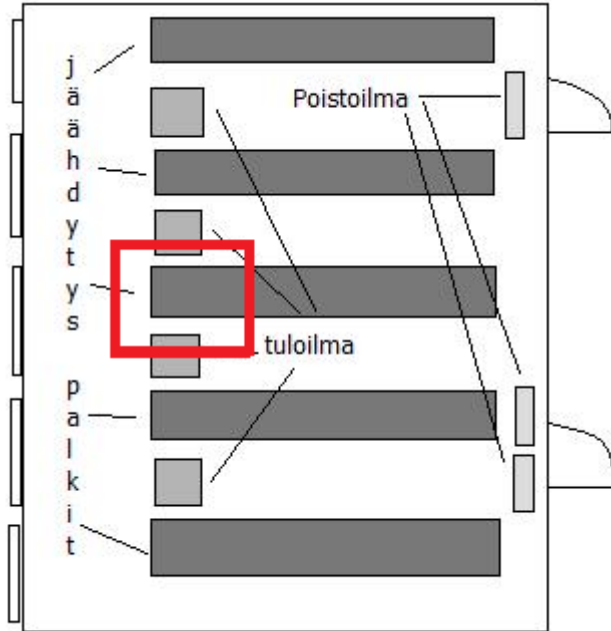
Vetoisuus tyhjissä luokkatiloissa

Luokissa tehdyt vetoisuusmittauksen tulokset on esitetty taulukossa 25.

Taulukko 25: Vetoisuus luokka tiloissa

$v/m/s$	B3-17	B4-25
aamupäivä	0,06	0,00
iltapäivä	0,02	0,01

Luokissa mitattiin useammassa pisteessä vetoisuutta. Luokasta B4-25 saatiin $0,00 \text{ m/s}$ tuloksen, mikä tarkoittaa, että haitallista vetoisuutta ei tilassa ilmene. Luokassa B3-17 mittauksen yhteydessä paikallistin pisteen, jossa vetoisuutta ilmenee. Suoritin siinä suurimman osan mittauksista ja sain keski-arvoksi $0,06 \text{ m/s}$. Olen merkinnyt pisteen kuvaan 17 paikallistetun pisteen luokassa B3-17.

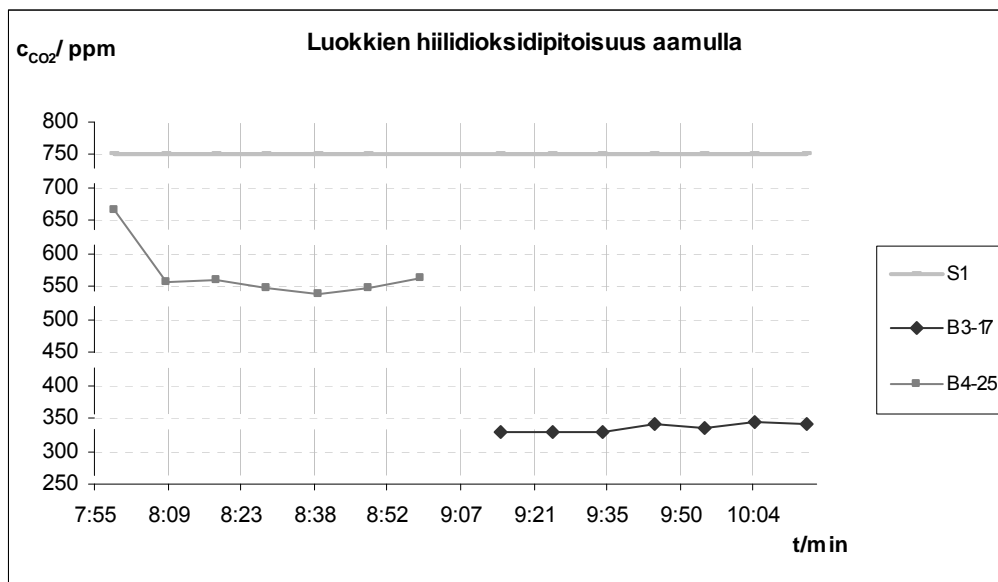


Kuva 17: Vetoisuus alue luokassa B3-17

Alue on mittausten mukaan ilmanvaihtolaitteiden risteyspisteissä. Pisteeseen vaikuttaa jäähdytyspaneelit, isot ikkunapinnat, poisto- ja tuloilmanvaihto. Piste on näiden neljän tekijän keskikohdassa.

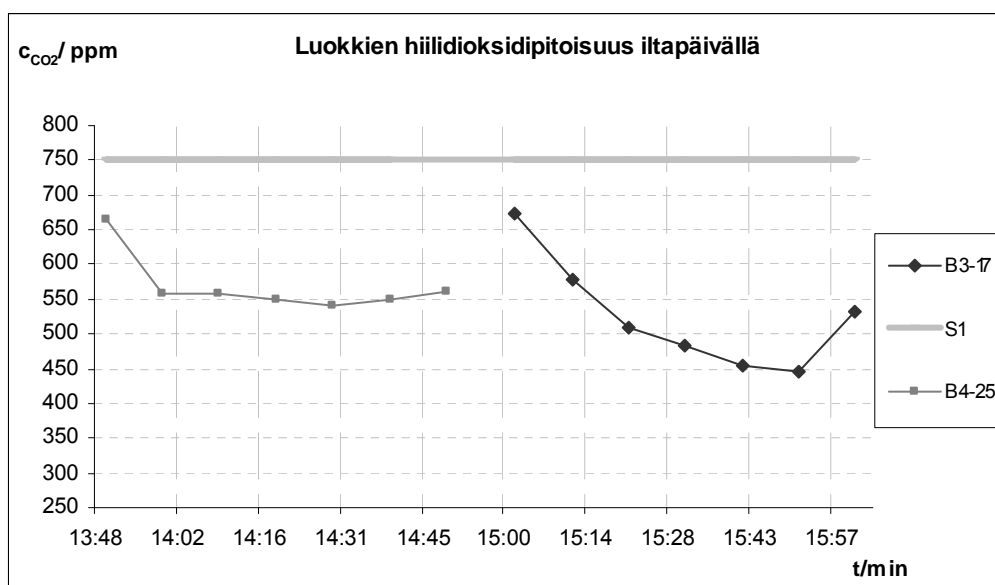
7.2.2 Hiilidioksidi luokissa

Luokkien hiilidioksidipitoisuudet mitattiin aamulla ja iltapäivällä. Aamupäivän tulokset on esitetty graafisessa muodossa kuvassa 18.



Kuva 18: aamupäivän hiilidioksidipitoisuudet luokissa

Molemmissa luokissa mittaukset tehtiin ennen tunnin alkua aamulla. Luokassa B4-25 on jo aamusta lähes 200 ppm korkeampi hiilidioksidipitoisuus. Luokissa ei ollut mittaus hetkellä väkeä, joten tulokset pysyvät sen vuoksi samassa suuruusluokassa koko mittauksen aikana. Iltapäivän mittaukset on esitetty graafisesti kuvassa 19.



Kuva 19: Hiilidioksidipitoisuus luokissa iltapäivällä

Iltapäivä mittauksia tehtäessä tiloissa oli ollut oppitunteja. B4-25 oli ollut hetken tyhjiällä. Koska tilassa ei ollut hiilidioksidipitoisuus vaihtunut päivän aikana, voidaan olettaa, että luokan perus taso on 550 ppm.

B3-17 luokassa loppui tunti juuri ennen mittauksen alkua. Mittaus tuloksista näkee kuinka ilmanvaihto vaikuttaa tilaan. Ilmanvaihto palauttaa hiilidioksidipitoisuuden noin 40 minuutissa lähelle aamuista mittaustulosta.

7.2.3 Ilmamäärät luokissa

Molemmista luokista mitattiin ilmamäärät iltapäivä mittausten yhteydessä. Taulukossa 26 on saadut tulokset tuloilmaventtiileistä.

Taulukko 26: ilmamäärät tuloilmavaihtokanavista

B4-25	Tuloilma 1	Tuloilma 2	Tuloilma 3	Tuloilma 4	Yhteensä	Suunniteltu	Mitattu
Keskiarvo (m ³ /h)	269,6	201,7	259,5	246,9	977,7	1080	1080
Laskettu (l/s)	74,9	56,0	72,1	68,6	271,6	300	300
B3-17	Tuloilma 1	Tuloilma 2	Tuloilma 3	Tuloilma 4	Yhteensä	Suunniteltu	Mitattu
Keskiarvo (m ³ /h)	88,3	82,8	82,9	73,8	327,9	1512	1512
Laskettu (l/s)	24,5	23,0	23,0	20,5	91,1	420	420

Koska suoritin mittaukseni yksikössä m³/h, tulokset muunnettiin l/s yksikköön. Tuloksia verrataan taulukossa 4 oleviin arvoihin, jotka on lisätty taulukkoon 26. Taulukossa olevat suunnitellut ja mitatut arvot tarkoittavat käyttöönottoarvoja, jotka on kartoitettu ilmanvaihtokoneiden asennuksen ja käyttöönoton yhteydessä.

Taulukosta 26 saadaan selville, että tilassa B4-25 ilmanvaihto toimii mittauksen aikana melkein suunnitellulla tasolla. B3-17 luokassa ilmamäärät ovat reilusti alle suunniteltujen ja mitattujen arvojen.

Heitto saattaa myös johtua siitä, että mittaus tehtiin mittauskartiolla, eikä pitot- putkistolla.

7.4 Mittaukset luokkatiloista oppitunninaikana

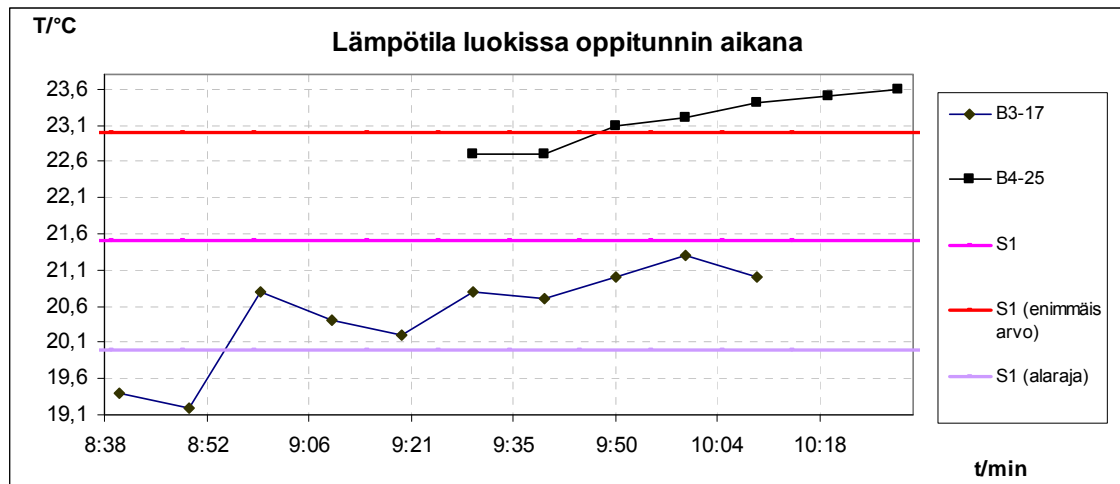
Tein uudet mittaukset luokkatiloista oppituntien aikana loka- marraskuun vaihteessa. Tarkoituksena oli saada tarkempaa tietoa ilmanvaihdon toiminnasta.

7.4.1 Lämpötila, kosteus ja vetoisuus oppitunnin aikana

Mittauksia tehtäessä ulkolämpötila oli molemmilla mittauskerroilla noin 3 °C, kosteusprosentti 82 % ja ilmanpaine 1020 hPa (Ilmatieteenlaitos 2009).

Lämpötila oppitunninaikana

Molemmissa luokissa ei ollut pidetty tuntia ennen mittausta. Lämpötila luokkatiloissa on esitetty graafisessa muodossa kuvassa 20.



Kuva 20: Lämpötilat oppituntien aikana

Kuvaajasta näkee, että molemmissa luokissa lämpötila alkaa kohota oppitunnin alettua.

Luokassa B4-25 mittaus oli lyhyempi. Se alkoi heti tunnin alettua ja päättyi kun oppitunti loppui, jolloin kuvaaja nousee lineaarisesti. Luokan lämpötila on jo mittauksen alussa lähellä S1-luokan ylärajaa. Tunnin edetessä lämpötila nousee yli raja-arvon, vaikka mittaus piste ei ollut luokan keskellä vaan sivussa, jotta oppitunti ei häiriintyisi.

Luokka B3-17 on S1-arvon alapuolella mittauksen alkaessa, mutta oppitunnin alkaessa lämpötila alkaa kohota lineaarisesti. Lämpötila on jopa alle S1 suositusarvon alarajan. Verrattuna B4-25 luokkatilaan lämpötila on lähes kolme astetta pienempi. Jos kyseessä on herkempi ihminen, joka istuu tilasta löydetyn vetoisuuden alueen sisällä, saattaa tuntoa tilan todella kylmäksi.

Kuvaajasta voi huomata kuinka lämpötila alkaa heti laskea oppitunnin päättyttyä (10:00-10:10). Se kuvaa kuinka ilmanvaihto vaikuttaa tilassa tehokkaasti. Kun ensimmäistä iltapäivän mittausta tehtiin luokassa B3-17, aloitettiin mittaus heti oppitunnin päättyttyä ja lämpötila laski.

Vetoisuus oppitunninaikana

Oppitunnin aikana mitattiin vetoisuutta vain yhdessä pisteessä, jotta oppitunti ei häiriintyisi. Keskiarvo vetoisuudesta on esitetty taulukossa 27.

Taulukko 27: vetoisuus oppitunninaikana

$v/m/s$	B4-25	B3-17
keskiarvo	0,06	0,006

Kummassakaan luokassa ei ollut havaittavissa suositusarvon ylittävää vetoisuutta mittauspisteissä.

Tulos kertoo, että luokassa B4-25 on vetoisuutta ainakin mittaus pisteessä. Haitallista vetoisuutta se ei ole, sillä mittauspiste oli oppituntia häiritsemättömässä paikassa. Luokassa B3-17 vetoisuus väheni mittauksen aikana. Mittauspiste ei ollut vetoisimmalla alueella, jolloin arvo jäi pieneksi.

Kosteus oppituntien aikana

Oppituntien aikana mitattiin kosteutta yhdessä pisteessä. Saaduista tuloksista laskettiin keskiarvot. Keskiarvo tulokset oppitunnin aikaisesta kosteudesta on esitetty taulukossa 28.

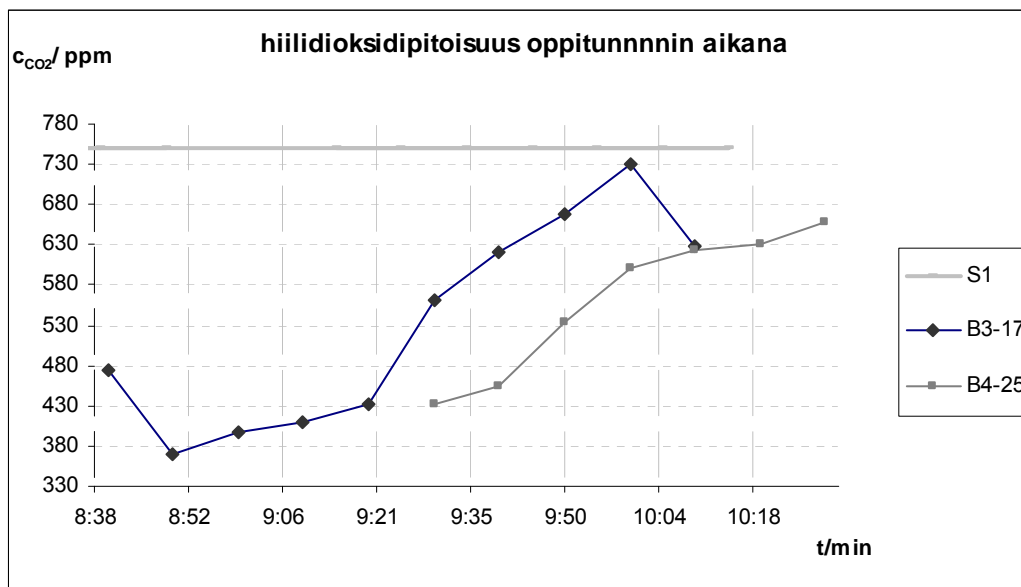
Taulukko 28: Keskiarvo kosteudet oppitunninaikana

Kosteus %	B4-25	B3-17
keskiarvo	30	21

Luokassa B4-25 kosteus pysyy talvelle annetun suositusarvon sisällä. B3-17 tilassa kosteus laskee alle suositusarvojen. Koska mittaus tehtiin lähempänä talvea, käytän talven suositusarvoja vertailu kohteena (25-45 %). Koska tilassa B3-17 on alhainen lämpötila, ei luokan sisäilma tunnu kuivalta.

7.4.2 Hiilidioksidipitoisuus luokissa oppitunnin aikana

Kuten kosteutta, lämpötilaa ja vetoisuutta, mitattiin myös hiilidioksidipitoisuutta yhdessä pisteessä. Hiilidioksidi pitoisuuksien kehitys on esitetty graafisesti kuvassa 21.



Kuva 21: Oppitunnin aikainen hiilidioksidipitoisuus

Kuvassa 21 olevasta kuvaajasta näkee, kuinka mittausten aikana molemmissa luokkatiloissa hiilidioksidipitoisuus alkaa kohota. Kummassakaan luokassa hiilidioksidipitoisuus ei ylitä S1-raja-arvoa. Toisaalta mittaus kesti molemmissa tiloissa vain yhden oppitunnin ajan aamupäivällä. Jos kyseessä olisi ollut iltapäivän kaksoistunti, tiloista olisi mitä luultavimmin saatu erilaiset tulokset.

Luokan B3-17 tyhjän luokan hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo oli 336 ppm. Tyhjää tilaa mitattiin ennen tunnin alkua ja pitoisuudeksi saatiin 371 ppm. Tyhjänluokan pohjataso on silloin noin 350 ppm. Heti oppitunnin alettua hiilidioksidipitoisuus alkaa kohota. Oppitunti kesti tunnin, jonka aikana pitoisuus kohosi lähelle S1 raja-arvoa. Heti oppitunnin päätyttyä ovi avattiin ja oppilaat poistuivat luokasta. Pitoisuus alkoi heti laskea.

Luokassa B4-25 mittaus aloitettiin heti tunnin alettua. Pitoisuus alkoi kohota luokassa. Mittaus päättyi heti oppitunnin loputtua. Tyhjän luokan B4-25 pohjataso on noin 500 ppm. Nyt mittauksen alkaessa lähtötaso on noin 430 ppm. Kuten luokassa B3-17 alkaa luokassa B4-25 hiilidioksidipitoisuus kohota.

8. Parannusehdotukset

Tampereen ammattikorkeakoulun ilmanvaihto toimii tehokkaasti. Osittain ongelmana on, että ilmanvaihtokoneiden alla on suuret tilat jolloin ilma ei jakaannu tasaisesti kaikkiin tiloihin.

8.1 Työhuoneet

Työhuoneiden ilmanvaihto toimii varsin tehokkaasti. Kuitenkin ihmisten erilaiset aistimuskokemukset saavat tilan sisäilmanlaadun tuntumaan erilaiselta. Kuten tuloksista saatiin selville, työhuoneessa B1-59 on astetta suurempi lämpötila.

Ilmanvaihtoa saattaisi tehostaa ovien kiinni pitäminen työpäivän aikana, sillä ovien ollessa auki ilman hiilidioksidipitoisuus kohosi. Esimerkiksi auto, jossa on lohko lämmitys, viilenee kesäisin nopeasti ikkunoiden ollessa kiinni.

Molemmissa tiloissa käy päivän aikana muita ihmisiä, joskus useampi henkilö kerrallaan, jolloin ilman lämpötila ja hiilidioksidipitoisuus saattaa kohota reilusti yli raja-arvojen. Koska tilaa ei pysty suurentamaan ja ilmastointia ei voi tehostaa vaikuttamalla muihin tiloihin. Ei asiaan helppoa ratkaisua löydy. Tarkempi kartoitus TK 24 alaisuudessa olevista työhuoneista, voisi mahdollistaa sen, että ilmanvaihto-ohjelman ohjausarvoja pystyttäisiin muuttamaan

Tilan ilmanvaihtoa voitaisiin kenties parantaa suuntaamalla ilmanvaihtokanavasta tulevaa ilmaa eri suuntiin. Tuloilmakanavaan asetettavilla suuntauslevyillä saataisiin ilmaa suunnattua ongelma kohtiin.

8.2 Luokkatilat

Koska luokkaan B3-17 on tullut vetoisuusalue, ilmanvaihtokanavien suuntausta kannattaa harkita. B4-25 luokasta löytyi vetoisuusalue oppitunti mittauksen aikana, koska mittauspiste oli oppituntia häiritsemättömässä paikassa, vetoisuus ei ole häiritsevää.

Luokassa B3-17 lämpötila jäi kaikissa mittauksissa alhaiseksi. Lämpötilan nostamiseksi tilan jäähdytyspaneelien käyttöä kannattaisi säätää. Ongelmana ovat muut saman ilmanvaihtokoneen alla olevat tilat. Jos yhden luokan takia aletaan säätää ilmanvaihto-ohjelmiston parametreja, voi muissa tiloissa sisäilmaviihtyvyys kärsiä.

Kuitenkin molemmissa luokissa oppituntien aikana lämpötilat ja hiilidioksidipitoisuudet alkoivat kohota, jolloin ilmanvaihtoa pitäisi tehostaa molemmissa luokissa.

8.3 Tulevaisuus

Tampereen ammattikorkeakoulun ilmanvaihdon tutkintaa kannattaa tulevaisuudessa jatkaa. Samoja tiloja ja uusia tiloja kannattaisi ottaa tutkimuskohteiksi. Tutkittaville kohteille kannattaisi tehdä tarkentavia mittauksia, esimerkiksi luokassa B3-17 vetoisuuspisteen yhteydessä olisi hyvä tehdä savukoe, jolla saataisiin vetoisuuslinjat paremmin selville.

Työhuoneissa kannattaisi tehdä operatiivisen lämpötilan mittaus, sillä saataisiin selville, onko tiloissa lämpötilaeroja, vai tuntuvatko tilat eri henkilöiden takia lämpötila erilaiselta. Muutenkin kartoitus muista työhuoneista auttaisi kertomaan pitääkö ilmanvaihtokoneen ohjausparametreja muuttaa.

Ilmamäärien tutkimista kannattaisi myös jatkaa ainakin B1-kerroksen osalta, koska arvot ovat kadoksissa. Täten saataisiin tarkempi kuva kanavissa kulkevista ilmamääristä. Muutenkin muissa tiloissa ilmamäärien kartoitusta kannattaisi jatkaa säännöllisin väliajoin, jotta heti huomattaisiin ongelmat.

Jotta B-siiven ilmanlaadusta saataisiin tarpeeksi kattava kuva, pitäisi tutkimuskohteita lisätä. Tässä työssä on tutkittu 4 tilaa, mutta se ei kerro koko ilmanvaihdon kokonaisuutta.

Lähteet

Aurola, Risto ja Välikylä, Tapio 1997. Asumisterveysopas, Pori: Ympäristö ja terveys- lehti:
Vammalan Kirjapaino Oy

Envic DM 100 [käyttöohje]. [viitattu 27.9.2009] Saatavissa:
Tampereen ammattikorkeakoulu

Fläkt Woods Oy. [www-sivu]. [viitattu 20.10.2009]. Saatavissa:
<http://www.flaktwoods.com/184/0/3/c1c4d0dd-7ef0-4ad4-b19d-1bc63d35f37b>

Haahtela, Tari, Nordman, Henrik & Talikka, Mirja 1993. Sisäilma ja terveys. Toinen uudistettu
painos. Loimaan Kirjapaino Oy

Ilmatieteenlaitos [online]. [viitattu mittausten yhteydessä]. Saatavissa:
<http://www.fmi.fi/saa/paikalli.html?kunta=Tampere>

Ojala, Petri, käyttöinsinööri.Haastattelu 14.9.2009 & S-posti, petri.ojala@tamk.fi. Tampereen
ammattikorkeakoulu

Palomäki, Eero ja Seuri, Matti 2000. Haasteellinen sisäilma. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Seppänen, Olli 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Kirjapaino Kiitorata Oy

SFS 5511 1989. [standardi].[viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: Tampereen ammattikorkeakoulun
kirjasto e-aineistot

Sisäilmastoluokitus 2008 Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset
2008. Ensimmäinen painos. Painorauma Oy

Sisäilmayhdistys [online].[viitattu 24.9.2009]. Saatavissa:
<http://www.sisailmayhdistys.fi>

Sosiaali- ja terveysministeriö 1997. Sisäilmaohje 1997:1, Toinen painos. Helsinki: Oy Edita Ab

SwemaAir 300. [käyttöohje]. [viitattu 5.10.2009]. Saatavissa: Tampereen ammattikorkeakoulu
rakennustekniikanosasto

Vernier –nettisivut [www- sivu]. [viitattu 24.10.2009] Saatavissa:
<http://www.vernier.fi/>

